BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE



GASTON TISSANDIER

LES RÉCRÉATIONS SCIENTIFIQUES



G. MASSON ÉDITEUR

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE
publiée sous la direction
DE M. GASTON TISSANDIER

LES RÉCRÉATIONS SCIENTIFIQUES

PRINCIPAUX OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

L'Eau. 5e édition. 1 vol. in-18 illustré.

La Houille. 3e édition. 1 vol. in-18 illustré.

Les Fossiles. 3e édition. 1 vol. in-18 illustré.

La Photographie. 3e édition. 1 vol. in-18 illustré.

Éléments de Chimie. 7e édition. 4 vol. in-18 avec de nombreuses figures dans le texte. (En collaboration avec M. P.-P. Dehérain.)

Causeries sur la Science. 2e édition. 1 vol. in-18 illustré.

Les Poussières de l'air. 1 vol. in-18 avec figures et planches hors texte.

Observations météorologiques en ballon. 1 vol. in-18 avec figures.

Le grand ballon captif a vapeur de M. Henry Giffard. 2e édition. 1 vol. in-8 avec de nombreuses gravures. (Épuisé.)

En ballon pendant le siège de Paris. Souvenirs d'un aéronaute. 1 vol. in-18.

Histoire de mes ascensions. Récit de 24 voyages aériens précédé de simples notions sur les ballons. 3e édition. 1 vol. gr. in-8 avec de nombreuses gravures, par Albert Tissandier.

Les Martyrs de la science. 2e édition. 1 vol. in-8 avec 20 gravures sur bois, par Gilbert.

Les Héros du travail. 2e édition, 1 vol. in-8 avec 20 gravures sur bois par Gilbert.

L'Héliogravure, son histoire et ses procédés. Conférence faite au Cercle de la librairie. 1 broch. in-8. (Épuisé.)

Histoire de la gravure typographique. Conférence faite au Cercle de la librairie. 1 broch. in-8. (Épuisé.)

L'Océan aérien. Études météorologiques. 1 vol. in-8, avec de nombreuses gravures.

Deux conférences sur les aérostats et la navigation aérienne. 1 broch. in-18.

Application de l'électricité a la navigation aérienne. L'Aérostat électrique a hélice, de MM. A. et G. Tissandier. Mémoire in-4 avec planche hors texte.

La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie. Journal hebdomadaire illustré, publié sous la direction de M. Gaston Tissandier, 2 vol. par an depuis l'année 1873.

BIBLIOTHÈQUE DE *LA NATURE*

Volumes publiés au 1er Décembre 1884

Les Récréations scientifiques, par M. Gaston TISSANDIER (Ouvrage couronné par l'Académie française). 4e édition entièrement refondue, 218 figures dans le texte et 4 planches en couleur.

L'Océan aérien, par M. Gaston TISSANDIER, avec 132 figures dont 4 planches hors texte.

Les Origines de la science et ses premières applications, par M. DE ROCHAS, avec 217 figures dont 5 planches hors texte.

Les principales Applications de l'Électricité, par M. E. HOSPITALIER. 3e édition, avec 144 figures dont 4 planches hors texte.

Les nouvelles Routes du globe, par M. Maxime HÉLÈNE, avec 92 figures dont 4 planches hors texte.

Les Races sauvages, ethnographie moderne, par M. A. BERTILLON, avec 115 figures dont 8 planches hors texte.

Les Voies ferrées, par M. L. BACLÉ, avec 147 figures dont 4 planches hors texte.

Excursions géologiques à travers la France, par M. Stanislas MEUNIER, avec 98 figures dont 2 planches hors texte.

L'Étain, par M. Germain BAPST, avec 11 planches hors texte.

L'Électricien amateur, par M. E. HOSPITALIER, nombreuses illustrations.

La Science appliquée aux arts militaires, par le lieutenant-colonel HENNEBERT, nombreuses illustrations.

Chaque volume est vendu broché.. 10 fr.

— richement cartonné.................................... 13 fr.

1194-84. — CORBEIL. Typ. et stér. CRÉTÉ.



Le diable au plafond.

Imp. Lemercier & Cie Paris

BIBLIOTHÈQUE DE LA NATURE

LES RÉCRÉATIONS SCIENTIFIQUES

OU

L'ENSEIGNEMENT PAR LES JEUX

PAR

GASTON TISSANDIER

RÉDACTEUR EN CHEF DU JOURNAL *LA NATURE*

LA PHYSIQUE SANS APPAREILS, LA CHIMIE SANS LABORATOIRE
LA MAISON D'UN AMATEUR DE SCIENCES
LA SCIENCE APPLIQUÉE A L'ÉCONOMIE DOMESTIQUE, ETC.

Ouvrage couronné par l'Académie française.

QUATRIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

Avec 4 planches hors texte tirées en couleur

Et 218 gravures dans le texte

dont 10 nouvelles.

PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine.

AVERTISSEMENT

DE LA QUATRIÈME ÉDITION

Lorsque nous avons publié dans notre journal *la Nature* une première notice sous le titre de PHYSIQUE SANS APPAREILS, nous étions loin de soupçonner alors le développement que cette idée de faire des expériences de physique, non pas avec des appareils spéciaux, mais bien au moyen d'objets de ménage ou de bureau que tout le monde a sous la main, était susceptible d'acquérir.

Il y avait là une idée heureuse, puisqu'elle est éminemment utile à l'enseignement élémentaire, et qu'elle montre que les principes de la physique ne nécessitent pas des appareils spéciaux : les phénomènes de la nature se présentent partout aux yeux de l'observateur attentif.

L'Académie française a honoré l'auteur de ce livre de la plus belle récompense qu'il ait pu ambitionner, en lui donnant en 1883 un des prix Montyon, destiné à récompenser les livres utiles.

Le nombre de lettres que nous avons reçues au sujet de la *Physique sans appareils* a certainement dépassé trois cents ; il nous en a été adressé de toutes les parties du monde. Des savants, des ingénieurs, des professeurs et même des membres de l'Institut

ont bien voulu devenir nos collaborateurs anonymes : grâce à ce concours précieux et obligeant, il nous a été possible de grouper une si grande quantité d'expériences, que nous avons peu à peu envisagé tous les chapitres de la Physique, depuis la pesanteur jusqu'à l'électricité et l'optique.

Les Récréations scientifiques ont été publiées en novembre 1880. La première édition a été préparée comme ouvrage de Jour de l'An : il n'en restait plus un seul exemplaire chez l'éditeur dès le 10 décembre. La deuxième édition a été épuisée dans le cours de l'année suivante. La troisième édition tirée à grand nombre a été écoulée en moins de deux ans.

Notre livre a été traduit en anglais, en allemand, en italien, en espagnol, en suédois, en norwégien, en danois et en russe. Nous manquerions à notre devoir si nous n'adressions nos remercîments les plus sincères à nos lecteurs de tous les pays.

Nous répondons aux marques de sympathie qui nous ont été adressées, en publiant une nouvelle édition entièrement refondue, où nous n'avons rien négligé pour améliorer notre œuvre, pour la compléter, et la rendre plus digne encore de l'accueil qui lui a été fait.

G. TISSANDIER.

Octobre 1884.

INTRODUCTION

Un savant mathématicien du XVII[e] siècle, Ozanam, membre de l'Académie des sciences et auteur de travaux distingués, n'a pas cru déroger en écrivant, sous le titre de *Récréations mathématiques et physiques*, un livre destiné à l'amusement de la jeunesse, et dans lequel on voit la science se prêter à tous les passe-temps, même aux tours de gobelets et d'escamotages. « Les jeux d'esprit, dit Ozanam, sont de toutes les saisons et de tous les âges ; ils instruisent les jeunes, ils divertissent les vieux, ils conviennent aux riches et ne sont pas au-dessus de la portée des pauvres. »

Le livre que le lecteur a sous les yeux a aussi pour but d'instruire en amusant, mais nous n'avons pas voulu aller aussi loin que l'a fait Ozanam, et nous avons cru devoir passer complètement sous silence les tours de physique dite *amusante*. Ils ne constituent pas des expériences, mais des supercheries ingénieuses destinées à déguiser le véritable mode d'opérer; nous n'avons pas cherché à les connaître pour les vulgariser. Nous avons voulu que tous les jeux que nous indiquons, que tous les passe-temps et les récréations dont nous donnons l'exposé, soient au contraire rigoureusement basés sur la méthode scien-

*

tifique, et puissent être considérés comme de véritables exercices de physique, de chimie, de mécanique ou de sciences naturelles. Il nous a semblé qu'il n'était pas bon d'enseigner à tromper même en jouant.

La science en plein air, en plein champ, en pleine lumière, est ce que nous étudions d'abord; nous montrons comment on peut, à la campagne, occuper et charmer sans cesse ses loisirs, en observant la nature, en capturant des insectes ou des animaux aquatiques, en observant l'atmosphère et les phénomènes aériens.

Nous enseignons ensuite à faire un cours de physique complet sans aucun appareil, et à étudier les différents phénomènes de la pesanteur, de la chaleur, de l'optique et de l'électricité au moyen de simples verres à boire, de carafes, d'un bâton de cire à cacheter et de menus objets que tout le monde a sous la main. Une série d'expériences de chimie exécutées au moyen de quelques fioles et de produits peu coûteux complètent cette partie du livre relative aux sciences physiques.

Un autre genre de récréations, utile et intelligent, consiste à recueillir les appareils que fournissent sans cesse à nos besoins de tous les jours les progrès des sciences appliquées, et à s'exercer à les faire fonctionner. Dans nos chapitres intitulés *la Maison d'un amateur de science*, et *la Science et l'Économie domestique*, nous avons réuni un certain nombre de mécanismes et d'objets divers, dont toutes les personnes ingénieuses et habiles aimeront à se munir, depuis la *plume électrique d'Édison* ou le *chromographe*, qui permettent de reproduire à un grand nombre d'exemplaires une lettre, un dessin, etc., jusqu'à des systèmes plus compliqués mais non moins précieux à avoir chez soi, tels que ceux qui servent à fabriquer la glace, etc.

Après avoir décrit des jouets scientifiques pour la jeunesse, nous avons voulu en indiquer d'autres pour l'âge mûr; nous

avons groupé dans un chapitre spécial les curieux systèmes de locomotion si usités aux États-Unis et en Angleterre, et si peu connus chez nous : bateaux à glace, petits navires à vapeur, systèmes de véhicules divers, appareils de natation, etc.

On voit que le présent ouvrage n'est pas seulement écrit pour les jeunes gens ; tout le monde, nous l'espérons, pourra y trouver quelque intérêt, peut-être même quelque profit, si ce n'est pour s'instruire soi-même en s'amusant, tout au moins pour enseigner les autres et leur apprendre que la science, qui est partout, sait aussi, quand elle est bien comprise, présider aux récréations et aux jeux.

LES RÉCRÉATIONS SCIENTIFIQUES

CHAPITRE PREMIER

LA SCIENCE EN PLEIN AIR

Bernard Palissy disait jadis qu'il ne voulait point avoir « d'autre livre que le ciel et la terre » et « qu'il est donné à tous de connaître et de lire ce beau livre ». Le grand écrivain exprimait ainsi l'importance de l'observation dans les sciences naturelles.

C'est en effet par l'étude du monde matériel que souvent les découvertes s'accomplissent. Qu'un observateur attentif suive un rayon lumineux quand il pénètre dans l'eau, il le verra se dévier de la ligne droite par la réfraction ; qu'il cherche l'origine d'un son, il découvrira qu'il résulte d'un choc ou d'une vibration : voilà la physique à son berceau.

On a dit que Newton fut conduit à trouver les lois de la gravitation universelle en considérant une pomme tombant de sa tige, et que les Montgolfier songèrent aux aérostats en voyant les brouillards s'élever dans l'atmosphère.

L'idée de la chambre noire aurait pu se développer d'une manière analogue dans l'esprit de tout observateur qui, assis à l'ombre d'un arbre, eût considéré avec attention l'image ronde du soleil qui s'y dessine à travers les intervalles des feuilles.

Tout le monde ne peut assurément pas avoir l'ambition de faire de semblables découvertes, mais il n'est personne qui ne puisse s'efforcer de s'instruire et de goûter le charme de l'observation de la nature bien comprise.

Il ne faut pas croire que, pour cultiver la science, il soit absolument nécessaire d'avoir des laboratoires ou des cabinets de physique ; le livre dont parle Palissy est toujours là, ses pages sont constamment ouvertes sous chacun de nos pas, dans toutes nos promenades, partout où se dirigent nos regards.

Il y a quelques années je me trouvais en Normandie, non loin de la ville de C..., jouissant, au milieu de la plus cordiale hospitalité, du calme que procure la campagne. Mes hôtes et moi nous prenions plaisir à faire ce que nous appelions de la *science en plein air*.

Les souvenirs de cette époque comptent parmi ceux qui se rattachent aux plus charmantes heures de ma vie, parce que tous nos loisirs étaient intelligemment occupés. Chacun s'ingéniait à fournir le sujet de quelque observation curieuse ou de quelque expérience instructive ; l'un de nous faisait une collection d'insectes, l'autre étudiait la botanique. Le jour, on pouvait nous surprendre, une loupe à la main, considérant sous le verre grossissant la branche d'un rosier où des fourmis s'occupaient à traire des pucerons[1] (fig. 1). Le soir, nous admirions avec une lunette astronomique les volcans lunaires et les planètes alors visibles. Si le ciel n'était pas pur, on restait au logis et, l'œil braqué contre l'oculaire du microscope, on regardait sous un

[1] On sait que les fourmis, en chatouillant l'épiderme des pucerons, y déterminent la sécrétion d'une matière visqueuse dont elles se nourrissent. Les fourmis emportent parfois les pucerons dans leurs demeures, et les y enferment; on peut dire qu'elles ont ainsi des *vaches à l'étable*.

fort grossissement les grains de pollen des fleurs ou les infusoires d'une goutte d'eau stagnante.

Un objet souvent insignifiant devenait l'occasion de quelque discussion scientifique, qui se terminait par une vérification expérimentale.



Fig. 1. — Fourmis occupées à traire des pucerons du rosier (très grossies). (Page 2.)

Je me souviens qu'un jour, l'un de nous remarqua qu'après une semaine de sécheresse, un cours d'eau avait presque tari, quoiqu'il se trouvât abrité par des arbres touffus qui, assurément, empêchaient l'action calorique des rayons solaires de s'exercer. Celui qui avait fait cette observation s'étonnait de

cette évaporation rapide. Un agronome de la société attira son attention sur ce fait que les racines des arbres plongeaient dans le cours d'eau et que, bien loin d'empêcher l'évaporation du liquide, les feuilles avaient contribué à l'accélérer. Comme le premier interlocuteur ne voulait pas se laisser convaincre, l'agronome disposa, en rentrant au logis, l'expérience que représente la figure 2. Il plaça une tige d'arbre garnie de feuilles, dans un tube en U, dont les deux branches d'inégal diamètre contenaient de l'eau. Il fit plonger dans l'eau la tige végétale, qu'il fixa au tube, par l'intermédiaire d'un bouchon entouré d'une feuille de caoutchouc bien ligaturée, de manière à déterminer une fermeture hermétique.

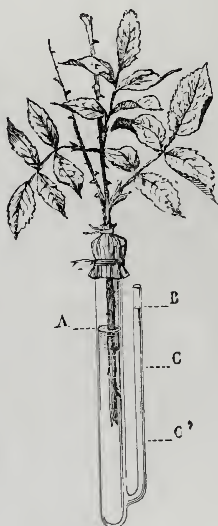


Fig. 2. — Expérience démontrant l'évaporation de l'eau par les feuilles. (Page 4.)

Au commencement de l'expérience, le niveau de l'eau était en A dans la branche à grand diamètre du tube en U, tandis qu'il se trouvait en B dans la petite branche du tube, à un point naturellement un peu plus élevé en raison de la capillarité. L'évaporation de l'eau déterminée par les feuilles fut si active, qu'en très peu de temps nous vîmes le niveau de l'eau s'abaisser et tendre vers les points C et C'.

C'est ainsi que cette excellente méthode de rechercher la cause des phénomènes par des expériences nous conduisit souvent à des résultats curieux.

Il y avait parmi nous des enfants, et quelques jeunes gens arrivés à l'âge où s'éveille si ardemment la curiosité ; nous prenions plaisir à les initier aux moyens d'étudier les sciences naturelles, et nous ne tardions pas à nous assurer que nos leçons au milieu des champs avaient beaucoup plus de succès que celles qui se donnent entre les quatre murs de la classe.

On recueillait les insectes, et, pour les conserver, on avait

soin de les placer dans un petit bocal où l'on faisait tomber une goutte de sulfure de carbone[1]; l'animal était immédiatement asphyxié, et nous évitions ainsi la cruelle torture de l'épingle qui traverse de part en part le corps d'un être vivant.



Fig. 3. — Aquarium confectionné au moyen d'une cloche à melon. (Page 6.)

Après avoir chassé les papillons et les insectes, on se trouva

[1] La conservation des insectes et leur préparation pour les collections nécessitent quelques précautions. Les entomologistes ont l'habitude d'étaler les individus qu'ils veulent conserver sur une planchette à rainures de façon

conduit à vouloir étudier les bêtes aquatiques qui pullulaient au sein des mares, fort abondantes dans le pays.

Je construisis à cet effet un filet de pêche, auquel je donnai pour support un cercle de fer solidement emmanché à un manche de bois. Cet engin plongé tout au fond des mares, au-dessous des lentilles d'eau, était retiré rapidement ; il sortait rempli de vase. Au milieu de cette substance bourbeuse, on ne manquait généralement pas de trouver des hydrophiles, des têtards, des tritons, des gyrins, des notonectes, de curieuses larves de phryganes dans leurs fourreaux, etc., et quelquefois des grenouilles étourdies par la rapidité de la capture. Tous ces animaux étaient transportés dans un bocal jusqu'au logis. Là je construisis à bien peu de frais un aquarium de verre, au moyen d'une cloche à melon retournée formant un récipient transparent de grande capacité.

Quatre piquets de bois furent enfoncés dans la terre ; on y cloua une planche percée d'un trou circulaire où la cloche à melon trouva à se poser en équilibre. Je disposai quelques gros cailloux et des coquillages au fond du vase, pour y faire un lit rocailleux ; j'y versai de l'eau, au milieu de laquelle je fis plonger quelques plantes d'eau avec des roseaux, puis je jetai une poignée de lentilles d'eau à sa surface ; tous les animaux capturés trouvèrent de la sorte un asile confortable [1]. L'aquarium ainsi installé à l'ombre d'un bel arbre dans un endroit un peu sauvage et tout couvert de fleurs champêtres (fig. 3) devint un

à pouvoir bien disposer, à l'aide de grandes épingles, les antennes et les pattes. Les ailes doivent être séchées en les plaçant sous des bandes de papier qui les préservent.

Ces préparatifs sont indispensables quand on veut que les insectes réunis en collection conservent bien tous leurs caractères apparents.

On peut élever les larves et les chenilles dans des pots remplis de terre, que l'on a soin de fermer au moyen d'une mousseline ou d'une toile métallique à très petites mailles. Les sujets d'éclosion peuvent donner lieu à de très intéressantes observations.

[1] Dans un petit aquarium construit de cette façon, il arrive fréquemment que les animaux s'échappent ; pour éviter l'évasion des captifs, on peut fermer le vase au moyen d'un filet.

lieu favori de réunion. Souvent on prenait plaisir à considérer les ébats de ses habitants; quelquefois on assistait à des scènes sanglantes : le vorace hydrophile se saisissait d'un pauvre têtard sans défense, et le déchirait sans pitié pour s'en repaître. Les tritons plus robustes se défendaient mieux, mais ils succombaient aussi dans la lutte.

Le succès de l'aquarium fut si complet que l'un d'entre nous résolut de compléter ce muséum en miniature, et se présenta un jour avec un *palais des insectes* qui fit presque oublier les têtards et les tritons. C'était une charmante petite cage, ayant la forme d'une maison surmontée d'un toit. Des fils de fer alignés en formaient les parois. Un gros grillon s'y trouvait enfermé à côté d'une feuille de salade qui lui servait d'aliment (fig. 4). La petite bête allait et venait dans sa prison qu'on avait suspendue à une branche d'arbre, et quand on la regardait de près, elle faisait entendre joyeusement le cri-cri de sa scie.

La ménagerie se trouva bientôt augmentée d'un objet négligé jusque-là : l'échelle aux grenouilles. Elle fut confectionnée avec beaucoup d'art. Un grand bocal de verre servit de base à la construction. L'échelle qu'on y établit était faite avec de simples tiges de branches minces récemment coupées d'un arbre et encore pourvues de leur écorce ; elles n'en donnaient au monument qu'un aspect plus pittoresque et plus rustique. Des planchettes de bois habilement ajustées aux deux montants conduisaient les grenouilles vertes (rainettes) à une plate-forme, où elles montaient au moyen des marches d'un véritable escalier. De là elles pouvaient prendre leurs ébats et s'élever plus haut encore sur une branche de bouleau, verticalement posée vers le centre du bocal (fig. 5). Un filet à fines mailles empêchait les petits animaux de se sauver. On donnait aux rainettes des mouches pour se nourrir, et parfois elles les attrapaient avec une adresse remarquable. Bien souvent j'avais remarqué que les rainettes en liberté se tiennent à l'affût devant une mouche sur laquelle elles se jettent tout à coup, comme le ferait un chat sur un oiseau (fig. 6).

Les observations que nous fîmes sur les animaux de notre ménagerie nous conduisirent à en entreprendre d'autres de nature très diverse: je me souviens particulièrement de celle de la catalepsie produite sur un coq. Voici en quoi consiste cette



Fig. 4. — Le Palais des Insectes. (Page 7.)

remarquable expérience, une des plus curieuses assurément qui aient été exécutées parmi nous.

On prend un coq, que l'on place sur une table de bois de couleur foncée : on lui applique le bec contre la surface où il est

solidement retenu, puis à l'aide d'un morceau de craie, on trace lentement une ligne blanche sur le prolongement du bec, comme l'indique notre gravure (fig. 7). Si la crète est abondante, il faut prendre soin de la relever, afin que l'animal puisse suivre des

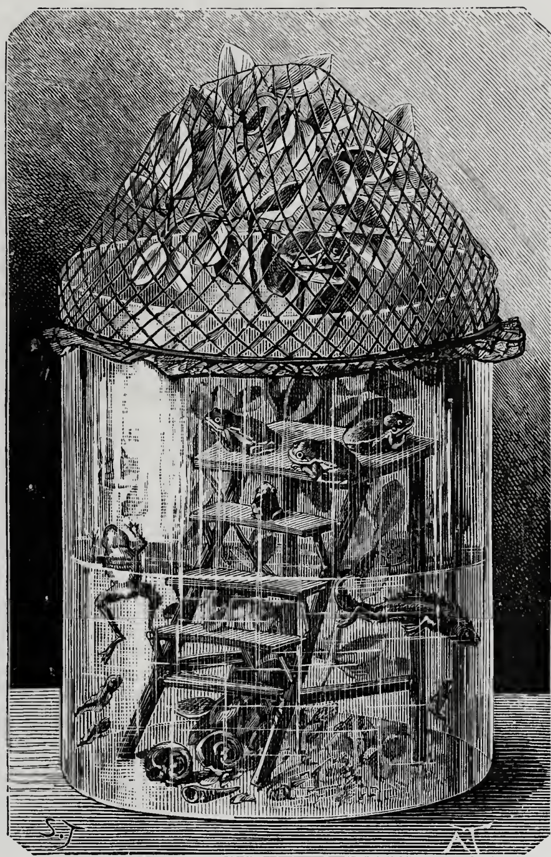


Fig. 5. — L'échelle à grenouilles. (Page 7.)

yeux le tracé de la ligne. Quand la ligne a atteint une longueur de 40 à 50 centimètres, le coq est devenu cataleptique. Il est absolument immobile, avec les yeux fixes, et il reste pendant trente ou soixante secondes à la même place, où tout à l'heure

on ne le retenait que par la force. Sa tête demeure appuyée contre la table, dans la position que figure notre dessin. L'expérience, que nous avons toujours réussie sur des individus différents, a été faite sur une table d'ardoise; la ligne droite a été tracée avec un morceau de craie. M. Azam rapporte que l'on obtient le même résultat, en traçant une ligne noire sur une planche de bois blanc. Suivant M. Balbiani, les étudiants allemands avaient autrefois une véritable prédilection pour cette expérience, qu'ils accomplissaient toujours avec un grand succès.

Les poules ne tombent pas en catalepsie dans ces circonstances, aussi facilement que les coqs; mais on les rend souvent immobiles en leur tenant la tête fixe et dans la même position, pendant plusieurs minutes.

Les faits que nous venons de citer se rattachent au phénomène si peu étudié, désigné en 1843 sous le nom d'*hypnotisme*.

L'expérience du coq cataleptique a été signalée pour la première fois, sous le nom de *experimentum mirabile*, par le P. Kircher dans son *Ars magna*, publié à Rome en 1646. Elle rentre évidemment dans la classe de celles que M. Charcot a exécutées à la Salpêtrière, sur des sujets atteints d'affections spéciales.

On voit combien nos occupations scientifiques étaient variées, et combien nous trouvions facilement autour de nous des sujets d'étude. Quand le temps était couvert ou pluvieux, nous aimions à nous livrer, à l'abri, aux observations microscopiques. Tout ce qui nous tombait sous la main, insectes, organes des végétaux, était bon à être examiné.

En exécutant un jour une préparation microscopique, je me servis d'une de ces pointes d'acier généralement employées à cet usage, et comme j'eus l'occasion de la faire passer par hasard sous le microscope, je fus étonné de voir combien son apparence, sous un fort grossissement, était rugueuse et grossière. Cette observation me donna l'idée de recourir à quelque objet plus pointu, et je fus ainsi conduit à faire les comparaisons des différents objets qui sont représentés plus loin (fig. 8). On voit com-

bien est grossière l'œuvre de notre industrie, si on la considère à côté de celle de la nature. Le n° 1 représente, sous un grossissement de 500 diamètres, la pointe d'une épingle ordinaire ayant déjà été employée. On voit que cette pointe, un peu émoussée, est légèrement aplatie à son extrémité supérieure ; le



Fig. 6. — Rainette guettant une mouche. (Page 7.)

métal malléable a cédé peu à peu sous le travail de la pression nécessitée pour le faire pénétrer dans des tissus. Le n° 2 est un peu plus pointu, c'est une aiguille d'acier ; on remarque cependant combien son aspect est encore défectueux, quand on la considère avec l'œil du microscope. Quelle finesse, au contraire,

présente l'épine de rose (n° 3), et quelle délicatesse inouïe le dard d'une guêpe (n° 4), examinés sous le même grossissement !

La vue du dessin très exact m'a permis de faire un calcul qui conduit à des résultats assez curieux : à 1 demi-millimètre de la pointe, les diamètres des quatre objets représentés sont respectivement, en millièmes de millimètre, 3,4; 2,2; 1,1; 0,38. Les sections correspondantes en millionièmes de millimètre carré sont : 907,92; 380,13; 95,03; 11,34, ou en nombres ronds : 908; 380 ; 95; 11.

Si on suppose, ce qui est bien au-dessous de la vérité, que la pression qu'il faut exercer sur la pointe doive être proportionnelle à la section, en admettant qu'il suffise d'une pression de 11 *centigrammes* pour faire enfoncer l'aiguillon d'une guêpe de 1 demi-millimètre, il faudra plus de 9 *grammes* de pression pour enfoncer une épingle de la même quantité. En réalité, ce dernier chiffre est beaucoup trop faible, car je n'ai pas tenu compte de l'avantage qui résulte pour l'épine de rose, par exemple, de sa forme en coin allongé, beaucoup plus favorable à la pénétration que celle en *goutte de suif* de l'épingle.

Il serait facile d'étendre considérablement les observations de ce genre à un grand nombre d'autres objets, et les remarques que je viens de faire sur des pointes naturelles et artificielles s'appliqueraient incontestablement à des tissus. Nul doute que le fil d'une toile d'araignée laisserait bien loin derrière lui celui de la plus fine dentelle, et que l'art se trouverait presque toujours distancé de beaucoup par la nature.

Je dois ajouter cependant que, dans certains cas, l'art humain peut perfectionner un produit de la nature. La gravure de la page 16 (fig. 9) en est un témoignage; elle donne l'aspect de merises des bois, placées au-dessous de quelques grosses cerises *Belles de Montreuil*, représentées les unes et les autres de grandeur naturelle. Quelle différence de volume et d'aspect, entre le produit de la culture et celui d'où il a tiré son origine première! Que ne pourrait-on pas dire encore sur la saveur et sur le goût comparatifs des deux types extrêmes?



Fig. 7. — Expérience du coq cataleptique. (Page 8.)

L'art ne crée pas à proprement parler, et il ne saurait jamais

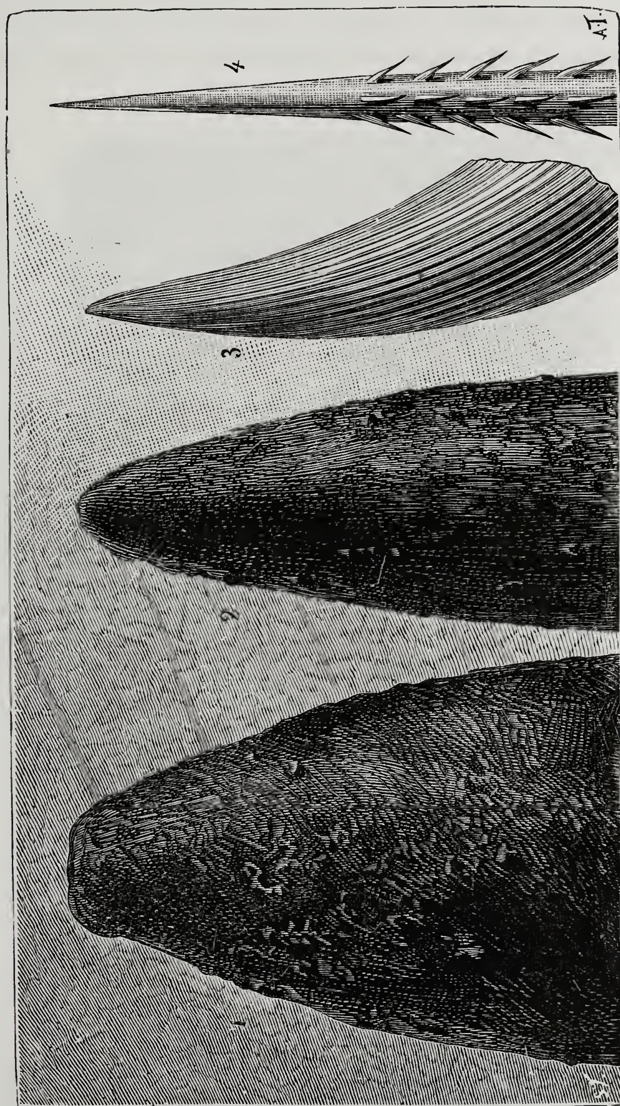


Fig. 8. — 1, épingle ordinaire ; 2, aiguille d'acier ; 3, épine de rose ; 4, dard d'une guêpe, vus au microscope sous un grossissement de 500 diamètres. (Page 10.)

être comparé à la nature ; mais par la continuité du travail il améliore, il perfectionne, il sait même opérer de véritables trans-

formations dans les êtres qui existent à la surface du globe. La cerise en est, comme on le voit, un remarquable exemple.

Nous nous plaisions à examiner surtout les infusoires ou les diatomées que l'on récolte bien facilement, en allant prendre

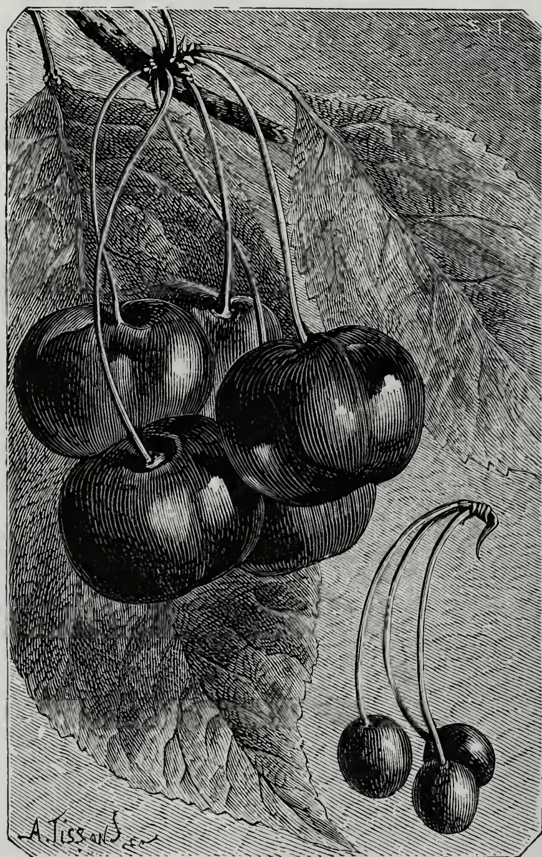


Fig. 9. — Cerises cultivées et merises sauvages (grandeur naturelle). (Page 12.)

dans une eau stagnante le mucilage qui adhère aux organes végétaux sur les bords, ou qui est attaché à la partie inférieure des lentilles d'eau. Nous capturions facilement ainsi des vorticelles qui, vues au microscope sous un fort grossissement, offrent le

plus remarquable spectacle que l'on puisse admirer. Ce sont des animalcules qui ont l'aspect de tulipes transparentes portées à l'extrémité de longues tiges. Elles forment des grappes qui s'allongent en s'épanouissant; tout à coup, on les voit se contracter



Fig. 10. — Aquarium pour l'étude des infusoires. (Page 18.)

avec une telle rapidité, que l'œil peut à peine en suivre le mouvement. Toutes les tiges sont repliées, et les clochettes refermées prennent l'apparence d'une boule; un moment après, les tiges se rallongent, et les tulipes vivantes s'ouvrent encore une fois.

On peut faciliter la production des infusoires en construisant un petit aquarium microscopique où l'on dispose un milieu favorable à leur développement. Il suffit de mettre quelques feuilles (une branche de persil convient parfaitement)[1] dans un petit vase contenant de l'eau (fig. 10). On recouvre le vase d'une cloche de verre et on expose le tout aux rayons du soleil. Deux ou trois jours après, une goutte de cette eau vue au microscope laissera découvrir quelque infusoire. On verra même se succéder les espèces, pendant un temps plus ou moins long.

Les observations microscopiques peuvent se faire sur un nombre considérable d'objets différents. Exposez à l'air un peu de farine légèrement humectée d'eau ; il ne tardera pas à s'y former des moisissures, c'est le *Penicillium glaucum* qui, examiné sous un grossissement de 200 à 300 diamètres, permettra de distinguer des cellules ramifiées, d'une organisation remarquable par sa simplicité.

Quand le ciel était pur et que le temps semblait favorable aux promenades, nous encouragions notre jeune entourage à courir au milieu des prairies et à faire la chasse aux papillons.

La capture des papillons se fait, comme tout le monde le sait, au moyen d'un filet de gaze que nous mettions entre les mains des enfants, et cette opération ne s'exerçait pas sans nécessiter de leur part une activité fort salutaire. Il arrive quelquefois que l'abondance des papillons est si grande qu'il est facile d'en prendre des quantités considérables.

Dans le courant de juin 1879, une partie importante de l'Europe occidentale a été traversée par des légions de vanesses du chardon, tellement nombreuses qu'elles ont vivement attiré l'attention de tous les entomologistes (fig. 11) ; ce passage de vanesses a offert l'occasion d'intéressantes études de la part des naturalistes.

La condition essentielle à celui qui veut se livrer aux sciences naturelles est de posséder le feu sacré, qui lui donne des forces

[1] L'infusion de persil a l'avantage de ne pas obscurcir sensiblement le liquide.

et lui inspire la persévérance nécessaire pour accroître ses collections.

La récolte des individus est une gymnastique salutaire qui ne nécessite qu'un matériel peu coûteux, facile à se procurer, et un petit nombre d'outils indispensables.

Le botaniste, pour recueillir les plantes, devra être armé d'une pioche solidement emmanchée, d'une houlette dont il existe un grand nombre de formes, et d'un couteau à lame bien aiguisée. La boîte d'herborisation servira au transport des plantes.

Le géologue ou le minéralogiste n'auront pas à se pourvoir d'instruments plus compliqués : un marteau, un ciseau et un pic à pointe acérée pour casser les roches, un sac de grosse toile pour rapporter les échantillons.

Nous nous plaisions à faire fabriquer la plupart de ces objets par le forgeron, quelquefois même à les confectionner nous-mêmes ; ils étaient simples, mais solides, et se prêtaient aux besoins de la récolte.

Souvent nous dirigions nos promenades jusque sur le bord de la mer, et là nous ne manquions pas de ramasser les coquilles sur les plages de sable, ou les fossiles au milieu des rochers. Je me souviens, dans une promenade exécutée quelques années auparavant au pied des falaises du cap Blanc-Nez, près de Calais, avoir mis la main sur une empreinte d'ammonite d'une dimension tout à fait remarquable et qui a souvent fait l'admiration des amateurs; cette ammonite ne mesurait pas moins de 30 centimètres de diamètre. Les rochers amoncelés au Cap Gris-Nez (fig. 12), non loin de Boulogne, offrent encore au géologue l'occasion d'un grand nombre d'observations curieuses. Dans les Ardennes et dans les Alpes, il m'est souvent arrivé de recueillir sur place de beaux minéraux : des pyrites cristallisées dans la première localité et de beaux fragments de cristal de roche dans la seconde (fig. 13). Je ne manquais pas de rappeler ces hauts faits aux jeunes gens que j'accompagnais et je voyais s'enflammer leur ardeur, dans l'espérance où ils étaient de faire aussi quelque précieuse trouvaille.

Il nous arrivait souvent, quand le soleil était très ardent et que l'air était calme, de remarquer sur la plage, nos jeunes compagnons et moi, de très beaux effets de mirage, dus à l'échauffement des couches inférieures de l'atmosphère. Les arbres et les maisons à l'horizon paraissaient surélevés au-dessus d'une nappe argentée au milieu de laquelle on les voyait se réfléchir comme dans une couche d'eau tranquille.

On ne saurait croire comme l'atmosphère offre fréquemment des spectacles intéressants, qui passent inaperçus aux yeux de ceux qui ne savent pas observer. Je me rappelle avoir jadis considéré à l'île de Jersey (24 juin 1877, à huit heures du soir) un magnifique phénomène de cette nature : c'était une colonne de lumière qui s'élevait au-dessus du soleil couchant, en une véritable gerbe de feu. Je me trouvais sur la jetée de Saint-Hélier, où de nombreux promeneurs allaient et venaient. Il n'y en avait pas plus de deux ou trois qui regardaient ce tableau grandiose.

Les colonnes et les croix de lumière sont beaucoup plus fréquentes qu'on ne le croit communément; mais elles passent souvent inaperçues en présence de spectateurs inattentifs.

Nous citerons un exemple de ce phénomène observé au Havre le 7 mai 1877.

Le soleil formait le centre de la croix, dont la couleur était d'un jaune d'or. Cette croix avait quatre branches. La branche supérieure était beaucoup plus brillante que les autres ; sa hauteur était de 15 degrés environ. La branche inférieure était moins grande, comme le montre le dessin ci-joint, exécuté d'après nature par mon frère Albert Tissandier (fig. 14). Les deux branches horizontales étaient par moment à peine visibles; elles se confondaient avec une traînée de nuages qui occupaient une grande partie de l'horizon. L'atmosphère au-dessus de la mer était très brumeuse. Le phénomène n'a pas duré plus de quinze minutes, mais la fin de son apparition s'est signalée par une circonstance intéressante. Les deux branches horizontales et la branche inférieure de la croix lumineuse ont disparu complètement, tandis que la branche supérieure a subsisté seule, pen-



Fig. 11. — Passage des vanesses du chardon, observé le 15 juin 1879. (Page 18.)

dant quelques minutes. Elle formait alors au-dessus du soleil une *colonne verticale*, analogue à celle que Cassini a étudiée le 21 mai 1672, et à celle que M. Renou [1] et M. A. Guillemin ont observée le 12 juillet 1876 [2]. Les *colonnes verticales* peuvent



Fig. 12. — Les rochers amoncelés au pied des falaises du cap Gris-Nez. (Page 19.)

donc provenir d'une croix lumineuse que des circonstances atmosphériques particulières ont rendue visible incomplètement.

Que de fois ne voit-on pas se former sur les routes poussiéreuses de petits tourbillons soulevés par le vent, et qui se dépla-

[1] *Comptes rendus*, tome LXXXIII, p. 243 et 292.

[2] Voy. *la Nature*, 4e année, 1876, 2e semestre, p. 167. — M. A. Guillemin mentionne, lors du phénomène du 12 juillet 1876, la présence dans l'atmosphère de *stratus légers, d'un gris bleu violacé*, comme cela a été également remarqué lors des phénomènes décrits précédemment.

cent en accomplissant un mouvement de rotation reproduisant ainsi la miniature d'une trombe ! Que de fois les halos ceignent d'un cercle de feu le soleil ou la lune ! Que de fois l'arc-en-ciel développe son écharpe irisée au milieu d'une masse d'air que traversent des gouttelettes d'eau ! Il n'y a aucune de ces grandes manifestations naturelles qui ne puisse donner lieu à des ob-

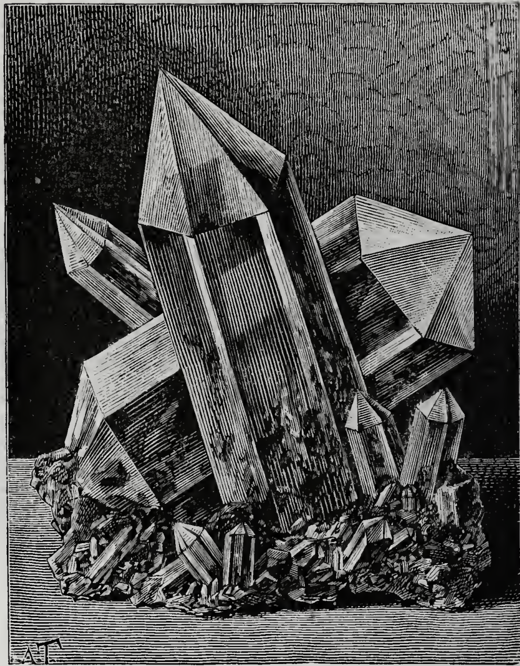


Fig. 13. — Groupe de cristal de roche. (Page 19.)

servations instructives, et devenir l'objet d'études et de recherches.

C'est ainsi que, dans les promenades ou dans les voyages, la pratique de la science peut toujours s'exercer ; ce mode d'étude ou d'enseignement en rase campagne et en plein air contribue à l'hygiène du corps comme à celle de l'esprit. En nous approchant des spectacles de la nature, depuis l'insecte qui erre sur un brin



Fig. 14. — Croix lumineuse observée au Havre, le lundi 7 mai 1877, à 6 h. 45 du soir. (Dessin par M. Albert Tissandier.) (Page 20.)

d'herbe, jusqu'aux corps célestes qui se meuvent dans le dôme céleste, nous sentons en nous se développer une influence salutaire et vivifiante.

L'habitude d'observer peut se manifester partout, même au milieu des villes, où la nature reprend souvent ses droits, dans les phénomènes météorologiques par exemple. Nous allons en donner un exemple.

L'extraordinaire abondance de neige qui est tombée à Paris pendant plus de dix heures consécutives, à partir de l'après-midi du mercredi 22 janvier 1880, restera comme un fait mémorable dans la météorologie de notre capitale. Au centre de Paris, on pouvait constater que l'épaisseur de la neige tombée à plusieurs reprises dépassait 30 centimètres. La neige a été précédée d'une chute de petits glaçons transparents qui n'avaient guère plus de 1 millimètre de diamètre et dont quelques-uns avaient des facettes cristallines. Ils formaient à la surface du sol un verglas très glissant. Dans la soirée du 22 janvier, des flocons de neige voltigeaient dans l'atmosphère comme de volumineux amas de laine. La plupart des becs de gaz étaient ornés de stalactites de glace qui attiraient parfois la curiosité des passants. La production de ces stalactites, dont nous donnons un spécimen (fig. 15), est facile à expliquer. La neige, en tombant sur le verre du réverbère chauffé par la flamme du gaz, fondait, ruisselait en eau, et regelait sous forme de stalactite, en retrouvant au-dessous de la lanterne une température inférieure à 0°.

Par ces froids extraordinaires, un curieux phénomène a été observé non loin de Paris. Une bouteille enfermée dans une vitrine et contenant une dissolution de nitrate d'argent a été trouvée dans l'état que représente la figure 16. Le bouchon était soulevé et incrusté à l'extrémité d'un long cylindre de glace, dû à l'augmentation de volume de la masse.

Si la météorologie et la physique peuvent être étudiées dans les villes, il en est encore de même pour certaines branches des sciences naturelles, l'entomologie par exemple.

Voici ce que dit un jeune naturaliste : « Les coléoptères se

rencontrent partout, et j'ai pensé qu'il serait peut-être bon de rappeler cette vérité en l'appuyant par des exemples. Je voudrais démontrer que, même au sein de nos grandes villes, il y a des endroits que l'on néglige sans doute d'explorer et où l'on ferait parfois de bonnes captures. Visitons dans certains moments



Fig. 15. — Formation des stalactites de glace sous la lanterne des réverbères de Paris, pendant la chute de neige du 22 janvier 1880. (Page 27.)

les abords des quais, même en dehors du temps des inondations, et nous serons tout surpris d'y rencontrer des espèces que nous allons souvent chercher bien loin. »

Cette affirmation est confirmée par une énumération de captures intéressantes. « Un de mes amis, dit l'entomologiste que nous citons, a trouvé vers le mois de juin, sur les boulevards ex-

térieurs, l'*Obrium cantharinum*, et sur le boulevard Mazas, un grand nombre de *Simplocaria semistriata.* »

L'étude des insectes peut être faite encore dans les vieilles maisons, dans les écuries, dans les caves, presque partout en un mot.

Il en est de même pour l'étude de la botanique. Des herborisations intéressantes ont souvent été exécutées dans les fortifications de Paris, et dans d'autres villes, au milieu des monuments anciens peu fréquentés ; certains auteurs ont pu dresser des catalogues étendus des mousses et des lichens qu'ils y ont trouvés.

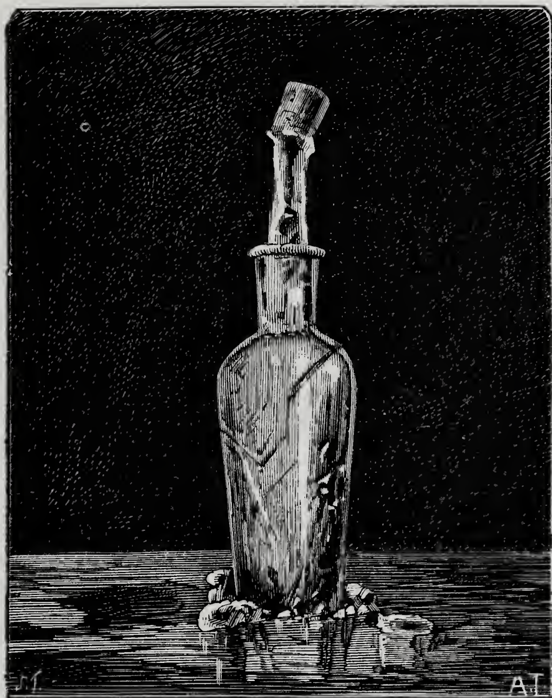


Fig. 16. — Bouchon d'une bouteille soulevé par la congélation du liquide. (Page 27.)

Le grand Bacon n'a-t-il pas eu raison de dire : « Rien pour l'observateur n'est muet sur la terre. »

CHAPITRE II

LA PHYSIQUE SANS APPAREILS

Tous ceux qui cultivent les sciences expérimentales savent combien il est utile de joindre aux notions théoriques l'habileté manuelle que donne la pratique des manipulations. On ne saurait trop encourager les chimistes et les physiciens à s'exercer à construire eux-mêmes les appareils dont ils ont besoin, et à modifier la disposition de ceux que l'on rencontre dans le commerce. Dans un grand nombre de cas, il est possible de confectionner à peu de frais des instruments délicats, susceptibles de rendre les mêmes services que les appareils les plus coûteux. De remarquables travaux ont parfois été réalisés par des hommes dont les laboratoires étaient simples, et qui, par leur adresse et leur persévérance, savaient faire de grandes choses avec de petites ressources.

La balance de précision, par exemple, cet indispensable outil du chimiste et du physicien, peut se fabriquer d'une façon pratique et économique. Il suffit d'un mince fil de platine et d'une planche de bois pour confectionner une balance de torsion capable de peser le milligramme. Il ne faut guère qu'un ballon de verre pour façonner une balance hydrostatique très sensible.

La figure 17 représente une petite balance de torsion d'une

extrême simplicité. Un mince fil de platine est tendu horizontalement à l'aide de deux pitons, au-dessus des deux supports A, B, en bois, découpés dans une planche de sapin. Un levier CD, très léger et très mince, taillé dans du bois, ou fabriqué avec un fétu de paille, est fixé au milieu du fil de platine à l'aide d'une petite pince H, qui l'y maintient solidement. Ce levier est placé de telle façon qu'il s'élève sensiblement au-dessus de l'horizontale. On y a collé, en D, un petit plateau en papier, où l'on place un poids de 1 centigramme. Le levier s'abaisse d'une certaine quantité en imprimant un mouvement de torsion au fil de platine. On a fixé près du bout de ce levier une tige de bois

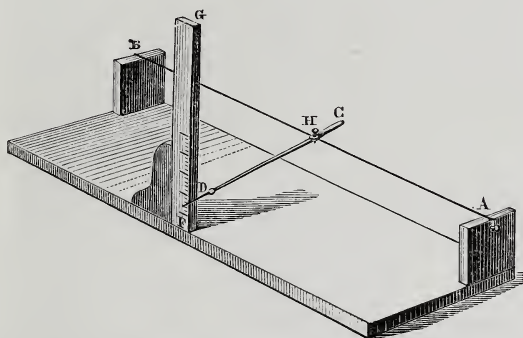


Fig. 17. — Balance de torsion que l'on peut confectionner soi-même et qui est susceptible de peser 1 milligramme (1/10 de grandeur d'exécution). (Page 30.)

GF, sur laquelle on marque les deux points extrêmes de sa course. On trace entre ces deux points dix divisions équidistantes. Chacune d'elles représentera le chemin parcouru par la pointe du levier, sous l'action d'un poids de 1 milligramme. Une substance d'un faible poids, inférieur à un centigramme, étant donnée, il suffit de la placer sur le petit plateau de papier ; le levier s'abaissera et restera en équilibre après quelques oscillations. S'il est abaissé de quatre divisions, on saura que la substance pèse 4 milligrammes.

En prenant un fil de platine un peu plus gros, auquel on adaptera un levier un peu moins long, on pourra peser le déci-

gramme et ainsi de suite. Il serait même facile de confectionner sur le même modèle des balances de torsion destinées à peser des poids considérables. Le fil de platine serait remplacé par des fils de fer de grand diamètre, solidement tendus, et le levier serait fabriqué à l'aide d'une barre de bois très résistante. Dans la limite opposée, on arriverait à apprécier la valeur de

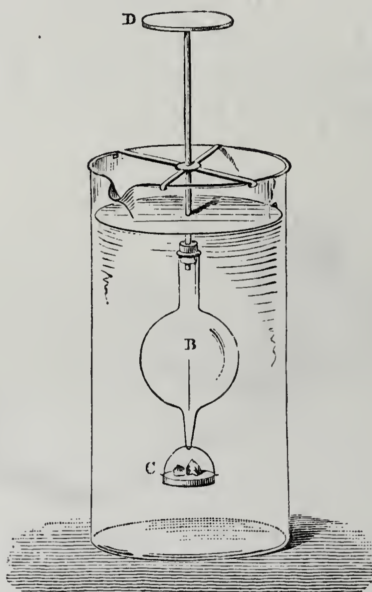


Fig. 18. — Aréomètre de Nicholson, construit pour servir de balance. (Page 32.)

poids très minimes. En donnant une longueur de plusieurs mètres au fil de platine, qu'on prendrait très mince, en y adaptant un levier très léger et très long, il ne serait pas impossible d'apprécier le 1/10 de milligramme. Dans ce dernier cas, la balance pourrait être montée au moment même où l'on voudrait l'employer.

La figure 18 représente un aréomètre de Nicholson que tout le monde peut fabriquer, et qui, tel qu'il est représenté, constitue un autre mode de balance. Un ballon de verre B, rempli d'air, est fermé hermétiquement par un bouchon dans l'axe duquel on

a fixé une tige de bois bien cylindrique surmontée d'un disque de bois D. Ce système est terminé, à sa partie inférieure, par un petit plateau C sur lequel on peut placer des morceaux de plomb en quantité variable. On le plonge dans un vase de verre profond et rempli d'eau. Les morceaux de plomb du plateau C y sont

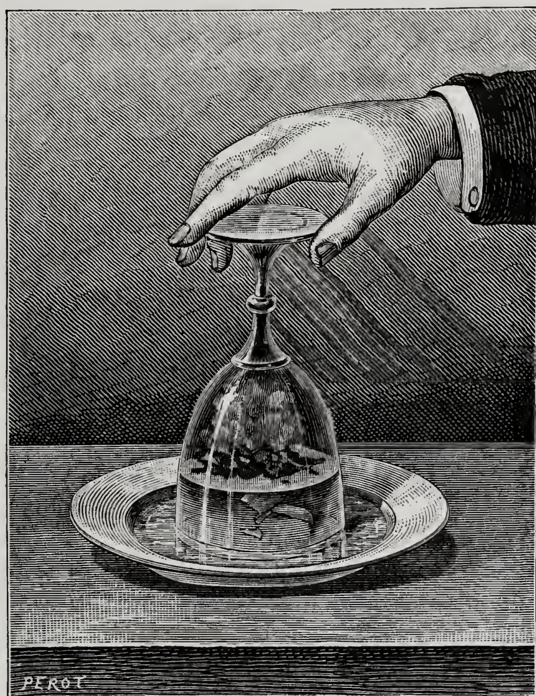


Fig. 19. — Ascension de l'eau déterminée dans un verre sous la pression atmosphérique. (Page 35.)

posés par voie de tâtonnements successifs, en quantité telle que la tige de l'aréomètre dépasse presque tout entière le niveau du liquide ; on la fait passer à travers un anneau qui lui sert de guide et que l'on a fixé, à la partie supérieure du verre, au moyen de quatre tringles de fer en croix. Cette tige a été divisée de telle façon que l'espace compris entre chaque division représente le volume de 1 centimètre cube. Le système ainsi disposé constitue

une balance. En effet, l'objet à peser est placé sur le disque D, l'aréomètre s'abaisse dans l'eau, oscille, puis reste en équilibre. Si la tige s'est enfoncée de cinq divisions, on saura que le poids de l'objet correspond à celui des 5 centimètres cubes d'eau déplacés, ou à 5 grammes.

On voit, par les exemples des balances précédentes, qu'il n'est pas impossible de confectionner des appareils de précision avec de menus objets très peu coûteux. Nous allons essayer de démontrer qu'on peut de même *faire des expériences instructives avec rien*, ou du moins avec les choses usuelles que tout le monde a sous la main.

Le regretté Balard, que la science a perdu dans ces dernières années, excellait à faire de la chimie sans laboratoire ; des tessons de bouteilles, des débris de vaisselles, tout lui était bon pour improviser des cornues, des matras ou des vases à précipiter et pour exécuter ainsi des travaux importants.

Scheele, autrefois, opérait de même : il savait faire de grandes découvertes avec d'humbles outils, et à l'aide de bien faibles ressources. On ne saurait trop s'exercer à imiter de tels maîtres, aussi bien pour enseigner les autres que pour s'instruire soi-même.

Il ne s'agira pas ici de faire des recherches, mais bien d'esquisser un programme d'enseignement, basé sur des expériences de *physique amusante*, exécutées sans appareils. Nous devons ajouter que nous les avons toutes exécutées et vérifiées ; le lecteur pourra les essayer avec toute certitude de succès.

LA PRESSION DE L'AIR. — LA CHUTE DES CORPS. — L'INERTIE. — LA FORCE CENTRIFUGE.

Supposons que nous nous adressions à un jeune auditoire et que nous commencions notre cours de physique par des notions relatives à la pression de l'air. Un verre à pied, une assiette et de l'eau, serviront immédiatement à nos premières expérimentations.

Voici une assiette, où je verse de l'eau, j'y enflamme du

papier posé sur un petit flotteur de liège, et je coiffe la flamme au moyen d'un verre, que je retourne (fig. 19). Qu'arrive-t-il ? L'eau monte dans le verre. Pourquoi ? Parce que le papier, en brûlant, ayant absorbé une partie de l'air, et le volume du gaz confiné ayant diminué, la pression atmosphérique extérieure a refoulé le liquide.

Je remplis d'eau un verre à pied, de telle façon qu'il soit plein au ras du bord, je le couvre d'une feuille de papier qui adhère bien avec le bord du verre et avec la surface du liquide. Je retourne le verre ainsi disposé (fig. 20), la feuille de papier l'empêche de s'écouler, parce qu'elle est maintenue par la pression atmosphérique. Il arrive quelquefois que cette expérience ne réussit qu'après des tâtonnements de la part de l'opérateur, aussi est-il prudent de retourner le verre au-dessus d'une cuvette, afin que l'eau puisse tomber sans inconvénient dans le cas d'insuccès.

Étant donnés un vase rempli d'eau et une petite bouteille complètement pleine d'eau, prenons avec la main la bouteille par le goulot, de telle façon que notre pouce fasse office de bouchon. Renversons la bouteille et faisons pénétrer son goulot dans l'eau du vase. Otons le pouce c'est-à-dire le bouchon, maintenons la bouteille dans une position verticale : nous remarquons que l'eau qu'elle contient ne s'échappe pas et reste en suspension.

C'est la pression atmosphérique qui produit ce phénomène.

Si dans la bouteille nous remplaçons l'eau par du lait (ou par tout autre liquide plus dense que l'eau), nous voyons que le lait reste également suspendu dans la bouteille ; seulement un mouvement se produit dans le goulot, et en fixant notre attention sur ce point, nous constatons que le lait descend dans le fond du vase et que l'eau remonte dans la bouteille.

Ici encore c'est la pression atmosphérique qui maintient les liquides dans la bouteille ; en outre, le lait descend parce que deux ou plusieurs liquides se superposent par ordre de densités décroissantes de bas en haut, c'est-à-dire que le liquide le plus dense occupe le fond du vase et ainsi de suite. C'est ce que l'on

peut vérifier encore au moyen de la *fiole des quatre éléments.* C'est une simple bouteille mince et allongée, contenant en volumes égaux du mercure métallique, de l'eau salée, de l'alcool et de l'huile. Ces quatre liquides se superposent sans se mélanger, même par l'agitation.

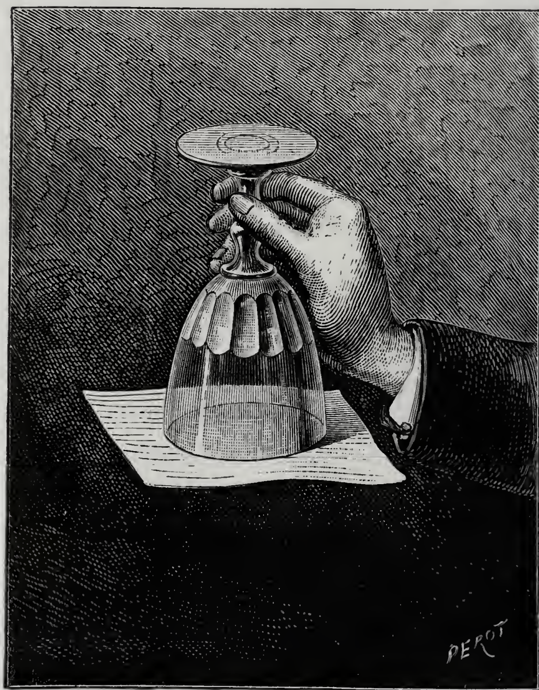


Fig. 20. — Verre plein d'eau, retourné et fermé par une feuille de papier que maintient la pression de l'air. (Page 35.)

Prenez un sou, posez-le à plat contre une planche de bois verticale, telle que le montant extérieur d'une bibliothèque de chêne par exemple, frottez-le fortement de haut en bas en appuyant avec énergie contre le bois. Retirez la main ; la pièce de monnaie reste adhérente à la boiserie (fig. 21). Voici pourquoi : Par le frottement et la pression exercée, vous avez chassé la mince couche d'air comprise entre le sou et la paroi plane du

bois; dans ces conditions la pression de l'air atmosphérique extérieur suffit pour maintenir l'adhérence.

Ajoutons une carafe et un œuf dur à notre matériel, nous allons remplacer la machine pneumatique et faire bien facilement l'expérience du crève-vessie.



Fig. 21. — Pièce de cinq centimes maintenue adhérente à une paroi de bois verticale, sous l'influence de la pression de l'air. (Page 36.)

J'enflamme du papier et je le fais brûler en le plongeant dans la carafe pleine d'air. Dès que le papier a brûlé quelques instants, je ferme l'ouverture de la carafe, à l'aide d'un œuf dur que j'ai préalablement dépouillé de sa coquille, et de telle façon qu'il forme un bouchon hermétique. La combustion du papier a dilaté l'air de la carafe. L'œuf dur va être poussé par la pression atmosphérique extérieure parce que l'air chaud confiné

se contractera par le refroidissement ; voilà l'œuf qui s'allonge (fig. 22), qui se moule dans le goulot de la carafe ; il est étiré et descend peu à peu... Tout à coup il entre tout entier dans la bouteille, brusquement, en faisant entendre une détonation très appréciable et quelquefois même d'une certaine in-



Fig. 22. — Œuf dur dépouillé de sa coquille entrant dans une carafe sous l'action de la pression atmosphérique. (Page 37.)

tensité, si l'œuf formait une fermeture hermétique. Voilà la pression atmosphérique démontrée d'une façon manifeste et à bien peu de frais.

La figure 23 représente l'expérience de la cloche à plongeur ; elle est tellement simple qu'il n'est pas nécessaire de la décrire. Elle se rattache à celles qui sont relatives à la pression de l'air et à la compression des gaz. Deux ou trois mouches ont

été introduites dans le verre : en y voltigeant, elles prouvent qu'elles se trouvent fort à l'aise dans cet espace légèrement comprimé.

Si l'on voulait pousser un peu plus loin la leçon relative à la pression atmosphérique, il serait facile de compléter les objets

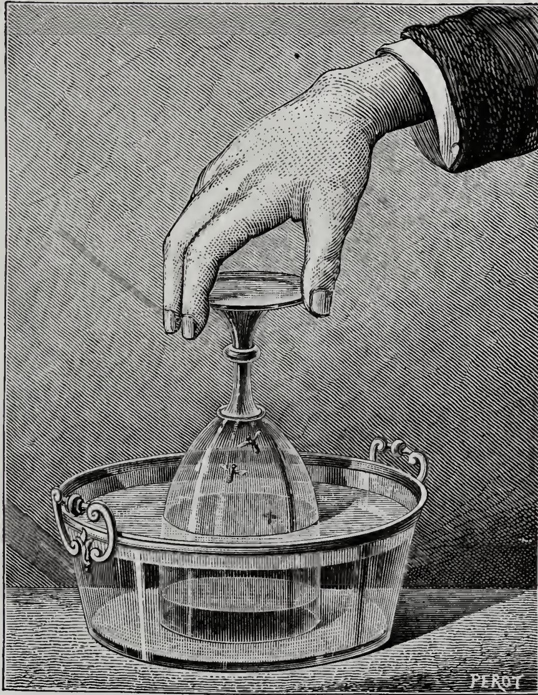


Fig. 23. — Expérience de la cloche à plongeur exécutée avec un verre à pied et un bassin de verre rempli d'eau. (Page 38.)

précédents par un tube de verre bouché et un certain volume de mercure ; on aurait ainsi les éléments nécessaires pour faire les expériences de Torricelli et de Pascal, et pour expliquer facilement le baromètre.

Un jouet bien connu des écoliers, le *tire-pavé*, peut encore être l'occasion de nombreuses dissertations sur le vide et la pression de l'air. On sait que cet objet est formé d'une ron-

delle de cuir mouillé, au milieu de laquelle est attachée une cordelette. Cette rondelle, appliquée sur un pavé, est pressée sous le pied. Quand on tire la cordelette, la rondelle de cuir forme ventouse, et on a beaucoup de peine à la séparer du pavé, qu'elle peut même soulever si l'expérience est bien



Fig. 24. — L'écolier inventeur de la machine pneumatique. (Page 40.)

faite. Ce petit appareil remplace, comme on le voit, les hémisphères de Magdebourg.

L'écolier qui le premier a aspiré l'air contenu dans le tube d'un porte-plume creux en le faisant adhérer à ses lèvres, sous l'action de la pression atmosphérique extérieure (fig. 24), a peut-être, avant les physiciens, donné le principe de la machine pneumatique. On sait que les patères pneumatiques peuvent de

même, sous l'influence d'une rondelle de caoutchouc et d'un corps de pompe, être maintenus à la surface des corps polis.

Après les expériences sur le vide, nous devons parler de celles qui se rattachent à la compression des gaz. Qui n'a gonflé d'air un sac de papier pour le crever d'un coup de poing violemment



Fig. 25. — L'air comprimé. (Page 41.)

donné? L'air comprimé dans cette expérience a rompu les parois du récipient qui le contenait, en produisant le bruit d'une explosion (fig. 25).

Parmi les plus amusantes démonstrations que l'on puisse faire sur le sujet qui nous occupe, nous citerons l'expérience qui consiste à souffler une bougie en se servant de l'air, comprimé dans une bouteille à l'aide de la bouche.

On prend une bouteille ordinaire dont le col a environ 2 centimètres de diamètre intérieur. Tenant le fond de cette bouteille dans la main droite, on appuie la paume de la main gauche, ou plus exactement la partie charnue A (fig. 26) située à la base du pouce de la main gauche, sur le goulot, de façon à le boucher presque en entier. Il faut avoir soin de ne laisser qu'un petit intervalle non bouché sur le côté. Cela fait, on applique la bouche sur cette étroite ouverture de manière à la couvrir complètement et on fait un effort pulmonaire pour comprimer l'air dans la bouteille. Cet effort peut être graduel [1].

Dans ces conditions, il est évident que par suite de la communication qui existe entre l'intérieur de la bouteille et les poumons, un équilibre de pression ne tarde pas à s'établir : 3 à 4 secondes suffisent largement. A ce moment, par un mouvement de rotation rapide du poignet gauche, on achève de fermer la bouteille en appliquant fortement la partie charnue dont nous avons parlé sur tout le pourtour du goulot. Par ce mouvement du poignet, la bouche est légèrement poussée de côté, car dans toute cette manœuvre elle ne doit pas cesser d'agir tant que la fermeture de la bouteille n'est pas complète.

En cet état, on place la bouteille dans une position inclinée, le fond en haut, toujours tenu par la main droite, et le goulot en bas; on approche celui-ci d'une bougie allumée, à 3 centimètres environ de la flamme. — C'est à ce moment que l'on doit déboucher en partie le goulot, par un *mouvement brusque* du poignet gauche, inverse de celui qui a produit la fermeture, et de façon à laisser échapper l'air comprimé par *une ouverture sensiblement égale* à celle qui a servi pour l'insufflation (fig. 27).

Lorsque ces conditions sont réalisées, l'extinction de la flamme ne manque jamais [2].

Les idées que nous possédons sur la gravitation, sur la pesanteur, sont, comme on vient de le voir, faciles à faire com-

[1] Il doit être aussi énergique que possible.

[2] Cette expérience fort intéressante nous a été communiquée par M. Georges Sire, docteur ès sciences.

prendre ; les expériences relatives à la chute des corps, à l'attraction, aux lois de l'inertie, peuvent encore être démontrées par des procédés analogues. Voilà un sou et un morceau de papier que je découpe de manière à lui donner la forme de la pièce de monnaie ; je laisse tomber les deux objets, en les plaçant l'un à côté de l'autre : le sou arrive à terre bien avant le papier. Ce résultat n'est pas contraire aux lois de la gravitation, parce qu'il faut tenir compte de la présence de l'air et de la résistance différente qu'il oppose aux deux corps, à cause de leur différence de densité. Je pose le disque de papier sur la face supérieure de la pièce, que je laisse tomber dans sa position horizontale : les deux objets arrivent alors en même temps à la surface du sol. Le papier, en contact avec le sou, s'est trouvé préservé de l'action de l'air.

Le poids des corps n'est pour rien dans leur chute ; c'est l'air seul qui les empêche de tomber avec la même vitesse.

Je prends une feuille de papier que je plie en deux, et que je sépare en deux parties égales de la même surface et du même poids. Je froisse dans mes mains le premier morceau de papier de manière à l'arrondir en boule et je laisse l'autre dans son état ; cela fait, je les abandonne tous deux dans l'espace ; le premier arrive à terre bien avant le second [1].

Parmi les expériences exécutées pour démontrer l'attraction

[1] M. A. Guébhard nous a écrit une intéressante lettre à propos d'une observation qui se rattache au sujet que nous traitons, nous la transcrivons ici :

« Quand il y a quelque temps que l'on vient de dégorger un siphon d'eau de seltz, et que l'équilibre de tension est près de s'établir entre le gaz dégagé et le gaz dissous, l'on voit s'élever du fond de l'appareil des traînées verticales de bulles, deux, trois, quelquefois une seule, qui présentent une figuration très nette de la loi d'ascension des bulles, c'est-à-dire (en négligeant l'accroissement de ces mêmes bulles le long de leur trajet) une représentation inverse de la loi des espaces dans la chute des corps. Les bulles, en effet, se détachent de leur point d'élection avec un véritable isochronisme, et comme les intervalles varient d'une file à l'autre, on a sous les yeux des représentations multiples de cette terrible loi des espaces dont la machine d'Atwood a fait un épouvantail aux commençants. Je pense qu'on pourrait même, en comptant, pour chaque file, le nombre des bulles qui se

moléculaire, il en est qui se font dans les cabinets de physique au moyen d'appareils d'une construction particulière. Ces appareils plus ou moins compliqués ne sont pas toujours nécessaires.

Rien n'est plus intéressant que de placer à la surface d'un vase plein d'eau deux petites sphères de liège, découpées dans



Fig. 26. — Position des mains avant de comprimer l'air avec la bouche. (Page 42.)

un bouchon; si on les rapproche l'une de l'autre de telle façon qu'elles ne soient plus séparées que par un espace très petit, de 1 millimètre environ, on les voit se précipiter l'une sur l'autre, comme le ferait une parcelle de fer approchée d'un ai-

détachent en une seconde, et le nombre que contient, à un instant donné, toute la traînée, pousser la vérification plus loin; mais je dois avouer que je ne l'ai pas fait moi-même. »

mant. On peut encore planter une des balles de liège à l'extrémité d'une pointe de couteau, et s'en servir pour attirer, à très petite distance, l'autre balle de liège flottant sur l'eau. Si les balles de liège sont enduites d'une petite couche de suif, au lieu de s'attirer, elles se repoussent; cela tient à la forme des ménis-

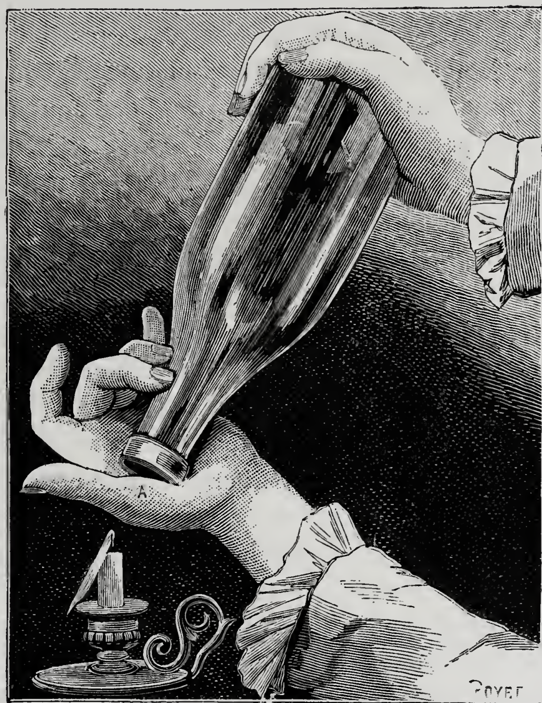


Fig. 27. — Manière de tenir la bouteille pour souffler la bougie. (Page 42.)

ques qui sont convexes quand la balle se mouille, et concaves lorsqu'elle est préservée du contact de l'eau par l'action de la graisse (fig. 28).

Quand un corps soumis à l'action d'une force agit sur un autre, ce dernier réagit dans un sens opposé sur le premier et avec la même intensité. Voilà le principe que l'on définit souvent en disant : l'action est égale à la réaction.

Au sujet des forces et de l'inertie, je citerai quelques expériences très simples dans leur exécution.

Je fus conduit, en me promenant, à en apprendre une, qui est tout à fait saisissante.

Je passais un jour dans le quartier de l'Observatoire, et je vis un grand nombre de passants arrêtés autour d'un physicien en plein air qui, après avoir fait quelques tours de gobelets, exécuta la curieuse expérience que je vais décrire. Il saisissait un manche à balai et le posait sur deux bandelettes annulaires de papier qui le soutenaient par ses deux bouts. Il priait deux enfants de tenir ces bandelettes par l'intermédiaire de deux rasoirs, de manière à ce qu'elles reposassent sur le coupant. Cela fait, l'opérateur prenait un bâton solide et, de toutes ses forces, il frappait le manche à balai vers son milieu ; celui-ci volait en éclats sans que les deux bandelettes de papier qui lui servaient de support aient été en aucune façon déchirées, sans même que les rasoirs les aient coupées. Un peintre de mes amis, M. M..., m'a enseigné à faire cette expérience comme le représente la figure 29. (Page 49.) On enfonce une aiguille à chaque extrémité du manche à balai, on pose celui-ci sur deux verres ayant chacun une chaise pour support ; les aiguilles seules doivent être en contact avec les verres. Si on frappe violemment le manche à balai avec un autre bâton solide, on le brise, et les verres restent intacts. L'expérience réussit d'autant mieux que l'action est plus énergique. Elle s'explique par la résistance de l'inertie du manche à balai. Le choc étant donné brusquement, l'impulsion n'a pas le temps de se communiquer des molécules directement atteintes aux molécules voisines ; les premières se séparent avant que le mouvement ait pu se transmettre jusqu'aux verres servant de support par l'intermédiaire de deux tiges élastiques [1].

[1] L'expérience que nous venons de rapporter est très ancienne. Elle se trouve décrite au long dans les œuvres de Rabelais. Voici ce qui est dit à ce sujet dans *Pantagruel*, liv. II, chap. XVII :

« En ceste même heure Panurge print deux voyres qui là estoyent, tous deux d'une grandeur, et les emplit d'eaue tant qu'ilz en purent tenir, et en

L'expérience représentée plus loin (fig. 30) est de même nature. Une boule de bois (la boule d'un bilboquet convient parfaitement) est suspendue au plafond par un fil peu résistant ; un fil semblable est fixé à la partie inférieure de la boule. Si l'on tire très fort le fil inférieur, il se cassera comme l'indique la figure ; le mouvement qui lui est communiqué n'a pas eu le temps de se propager dans la masse sphérique ; si l'on tire au contraire en appuyant peu à peu et sans choc, c'est le fil supérieur qui se rompra, parce que dans ce cas il supporte le poids de la masse sphérique.

On peut multiplier les exemples du même phénomène : une balle de plomb lancée avec un fusil contre un carreau y fait un trou rond, tandis que si elle était jetée avec la main, c'est-à-dire avec beaucoup moins de force, elle le ferait voler en éclats. Une tige d'une plante flexible peut être coupée à l'aide d'une baguette horizontalement lancée avec une grande vitesse. La vitesse du corps qui agit est dans ce cas très grande, et les molécules directement attaquées prennent une vitesse telle qu'elles se séparent des molécules voisines avant que le mouvement ait eu le temps de se communiquer à ces dernières. On peut par la même raison faire sortir d'une pile de pièces de monnaie une de celles qui sont situées vers la partie inférieure de la pile, et cela sans

mit l'ung sur une escabelle et l'aultre sur une aultre, les esloignant à part par la distance de cinq piedz, puis print le fust d'une javeline de la grandeur de cinq piedz et demy et le meit dessus les deux verres en sorte que les deux bouts du fust touchoyent justement les bords des verres. Cela faict, prist un gros pau (pieu) et dist à Pantagruel et aux aultres : Messieurs, considérez comment nous aurons victoire facilement de nos ennemis. Car ainsi comme ji romprai ce fust ici dessus les verres, sans que les verres soyent en rien rompuz ni brisez, encores, qui plus est, sans qu'une seule goutte d'eaue en sorte dehors, tout ainsi nous romprons la teste à nos Dipsodes, sans que nul ne soit blessé et sans perte aulcune de nos besoignes. Mais affin que ne pensez qu'il y ait enchantement, tenez, dict il à Eusthenes, frappez de ce pau tant vous pourrez au myllieu. Ce que feit Eusthenes, et le fust rompit en deux pièces tout net sans qu'une goutte d'eaue tombast des voyres. Puist dist : J'en scay bien d'autres ; allons seulement en asseurance ! »

renverser les autres. Il suffit de frapper violemment l'une d'elles avec une règle de bois plate qui soit un peu plus mince que la pièce elle-même. L'expérience réussit très bien avec des dames empilées sur le damier. On opère, dans ce cas, à l'aide de l'un des petits couvercles à coulisse de l'instrument (fig. 31, p. 52).

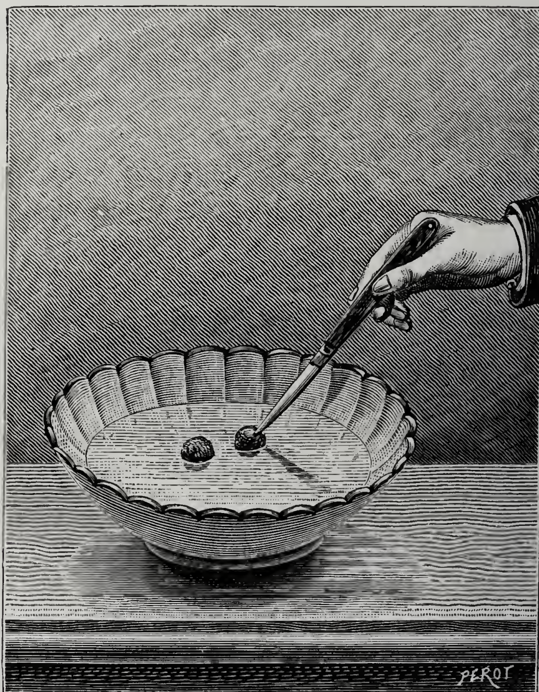


Fig. 28. — Expérience sur l'attraction moléculaire. (Page 44.)

Voici quelques autres expériences sur le principe de l'inertie.

Vous prenez une bandelette de papier que vous placez sur le coin d'une cheminée de marbre. Vous y posez en équilibre, et debout sur sa tranche, une pièce de 5 francs en argent ou une pièce de 10 centimes en cuivre (fig. 32). Si, prenant d'une main l'extrémité libre de la bandelette, vous frappez celle-ci très fortement

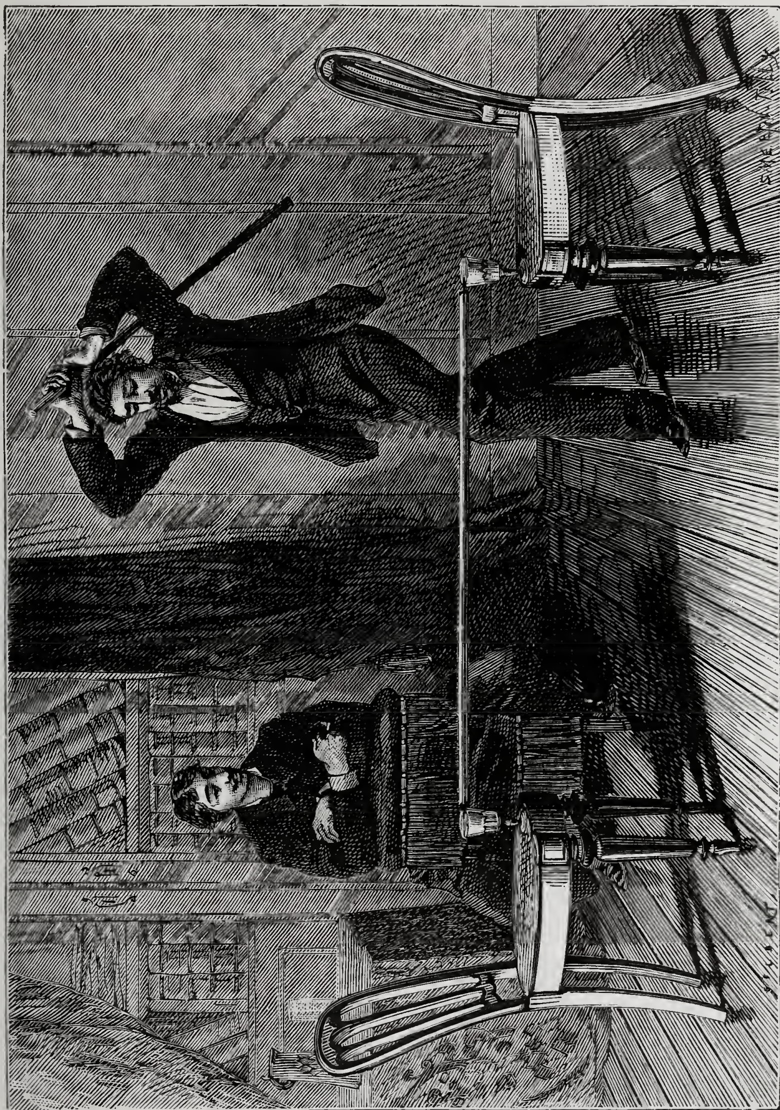


Fig. 29. — Expérience d'un bâton cassé au-dessus de deux verres. (Page 46.)

et très rapidement, vous pouvez la retirer sans faire tomber la pièce posée sur l'autre extrémité.

Il n'est pas impossible d'enlever d'une table servie pour une personne, une serviette employée en guise de nappe, sans rien déranger des objets posés dessus. Il suffit d'une vive traction

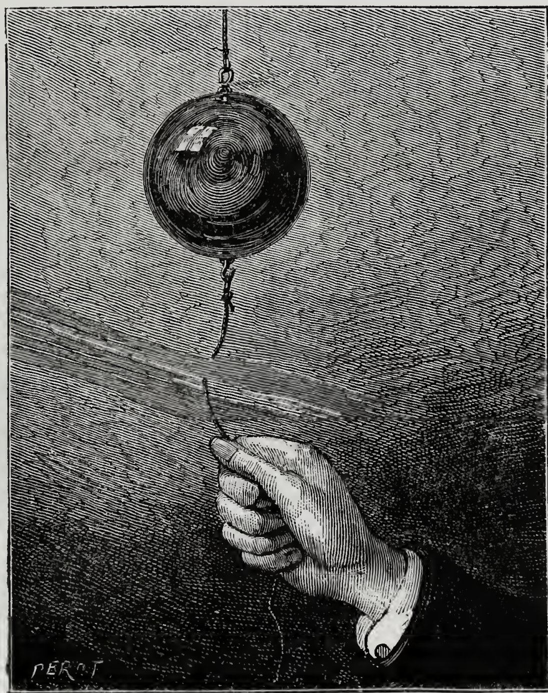


Fig. 30. — Expérience relative à l'inertie. (Page 47.)

horizontale en raidissant bien le bord tenu par les mains.

La figure 33 montre une autre expérience qui se rattache encore aux principes de l'inertie. On place une pièce de 50 centimes sur une table couverte d'une nappe ou d'une serviette. On la coiffe d'un verre retourné de telle façon que ce verre repose sur deux pièces de 10 centimes. On pose alors le problème suivant aux assistants : Il s'agit de faire sortir la pièce de 50 centimes de des-

sous le verre, sans toucher à celui-ci, et sans rien glisser à sa partie inférieure. Pour résoudre ce problème, il suffit de gratter la nappe dans le voisinage du verre avec l'ongle de l'index; l'élasticité du tissu communique le mouvement à la pièce de 50 centimes, et par suite de son inertie, elle progresse peu à peu en se rapprochant du doigt qui agit, jusqu'à sortir complètement du verre au-dessous duquel elle était emprisonnée.

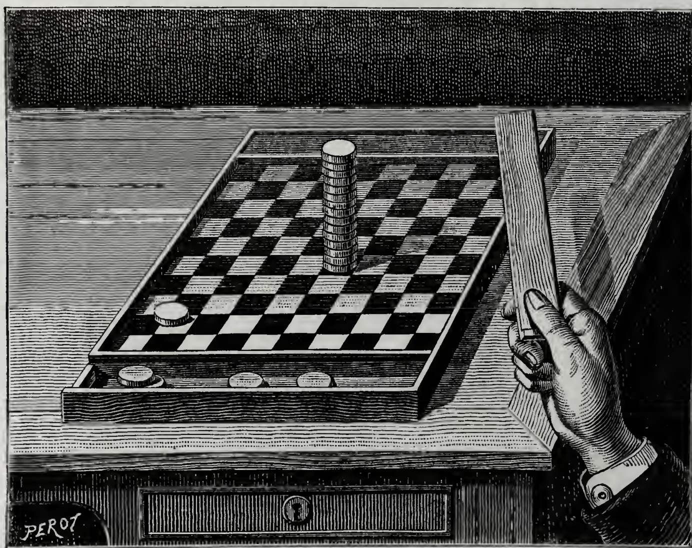


Fig. 31. — Manière de faire sortir une dame d'une pile, sans renverser celle-ci. (Page 48.)

Il existe plusieurs jeux basés sur l'inertie; l'un d'eux consiste à placer au milieu d'une circonférence un tuyau tronconique en feutre à l'extrémité supérieure duquel on place les pièces de monnaie de l'enjeu; le tuyau, visé avec de larges palets ou un petit bâton, laisse l'enjeu dans le cercle quand il est frappé; or la condition étant de sortir les pièces du rond, il faut éviter de frapper le tuyau.

C'est en vertu de l'inertie de la matière, que les poussières de nos vêtements en sont chassées par le battage, chaque particule

tendant au repos ; quand le choc met en mouvement brusque l'étoffe qui les contient, elles restent en arrière et la quittent. Quand une corde est vivement lancée, puis retenue au plus fort de sa vitesse, la partie extrême qui a la plus grande vitesse tend à s'échapper des autres, et s'en échappe souvent avec bruit : c'est

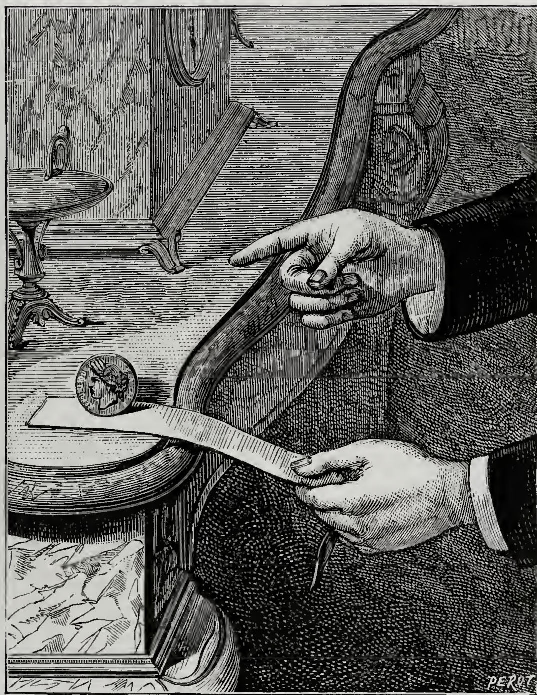


Fig. 32. — Autre expérience sur le principe de l'inertie. (Page 48.

là le claquement du fouet. C'est pour la même raison que l'eau quitte les feuilles de salade que l'on secoue avec force dans un panier à claire-voie.

C'est par la force vive acquise, ou l'inertie au repos, que l'on casse des cailloux à coups de poing. Cette expérience est faite par des bateleurs de nos foires ; voici comment. La main droite étant enveloppée d'un linge, de la gauche on prend le caillou à

casser (silex en rognon), que l'on applique soit sur une grosse pierre, un pavé ou une enclume, puis de la main droite on frappe dessus à coups redoublés, en ayant bien soin de soulever le caillou à casser à une petite distance de son enclume, chaque fois que le poing est près de la toucher ; l'objet prend alors la vitesse

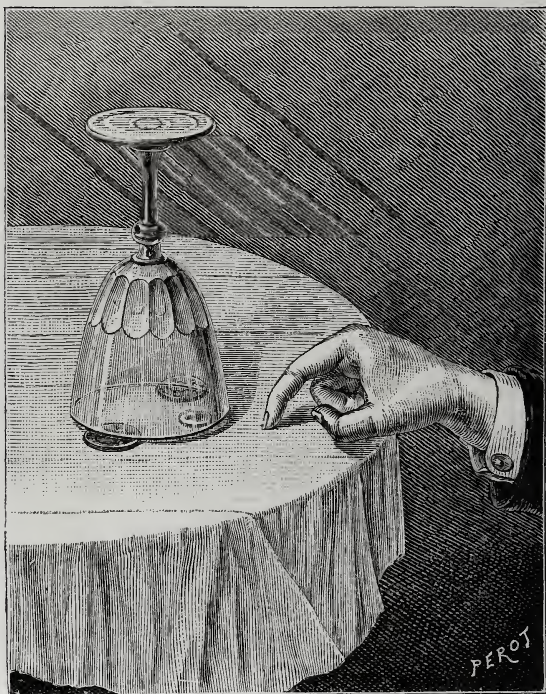


Fig. 33. — Pièce de 50 centimes mise en mouvement. (Page 51.)

du poing qui frappe, et heurtant violemment son appui, il s'y brise très promptement. Toute simple qu'est cette expérience, elle émerveille toujours les spectateurs (fig. 36).

Quand un pêcheur armé de sa canne à la ligne fait un vif mouvement de relevé, c'est l'inverse qui se produit à l'extrémité de sa canne, laquelle s'abaisse d'autant plus que l'action a été

plus énergique, mais se relève ensuite avec la vitesse de la main qui agit.

Il n'est pas inutile de faire observer que les gaz quoique invisibles, quand ils sont incolores comme l'air, peuvent exercer des actions mécaniques sensibles lorsqu'ils sont animés de mouve-

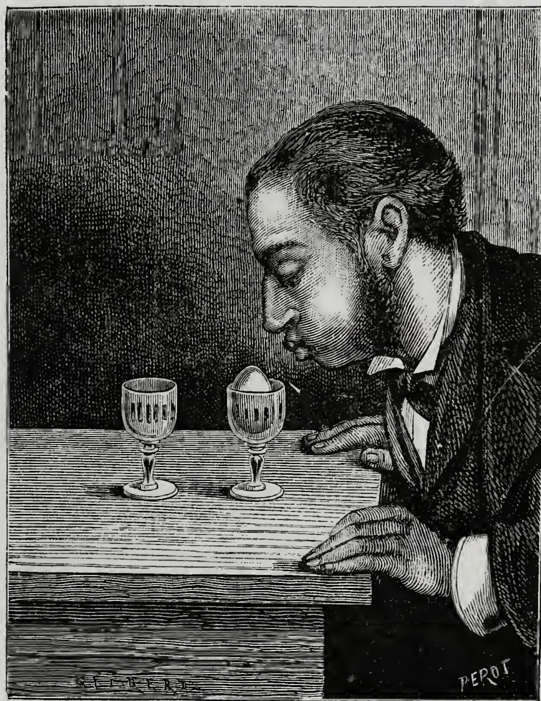


Fig. 34. — Action de l'air animé d'un mouvement rapide. (Page 55.)

ments rapides. En soufflant avec beaucoup d'énergie dans un verre à bordeaux contenant un œuf dur, on arrive à faire sauter cet œuf en dehors du verre (fig. 34). Avec de l'adresse et de la force des poumons, il n'est pas impossible, sous l'action du courant d'air ainsi développé, de faire passer l'œuf d'un verre dans un autre placé à côté.

Prenez une bouteille ordinaire de vin et placez-la à quelques centimètres devant une bougie allumée.

Soufflez sur la bouteille de manière que votre bouche soit environ à 20 ou 30 centimètres de la bouteille et en face de la flamme de la bougie, sur un même plan horizontal (fig. 35).

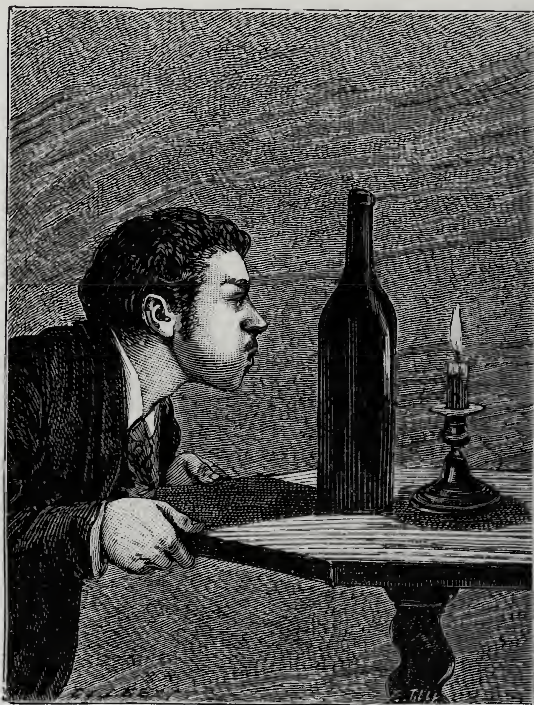


Fig. 35. — Manière d'éteindre une bougie placée derrière une bouteille. (Page 56.)

Eh bien ! malgré la présence de la bouteille qui intercepte le souffle, la bougie s'éteint immédiatement, comme s'il n'existait aucun obstacle dans la direction du souffle.

Ce phénomène s'explique si l'on considère que la bouteille reçoit sur sa surface polie le souffle produit qui, en arrivant sur cette surface, se partage en deux courants, l'un prenant la direction de droite et l'autre la direction de gauche; ces courants

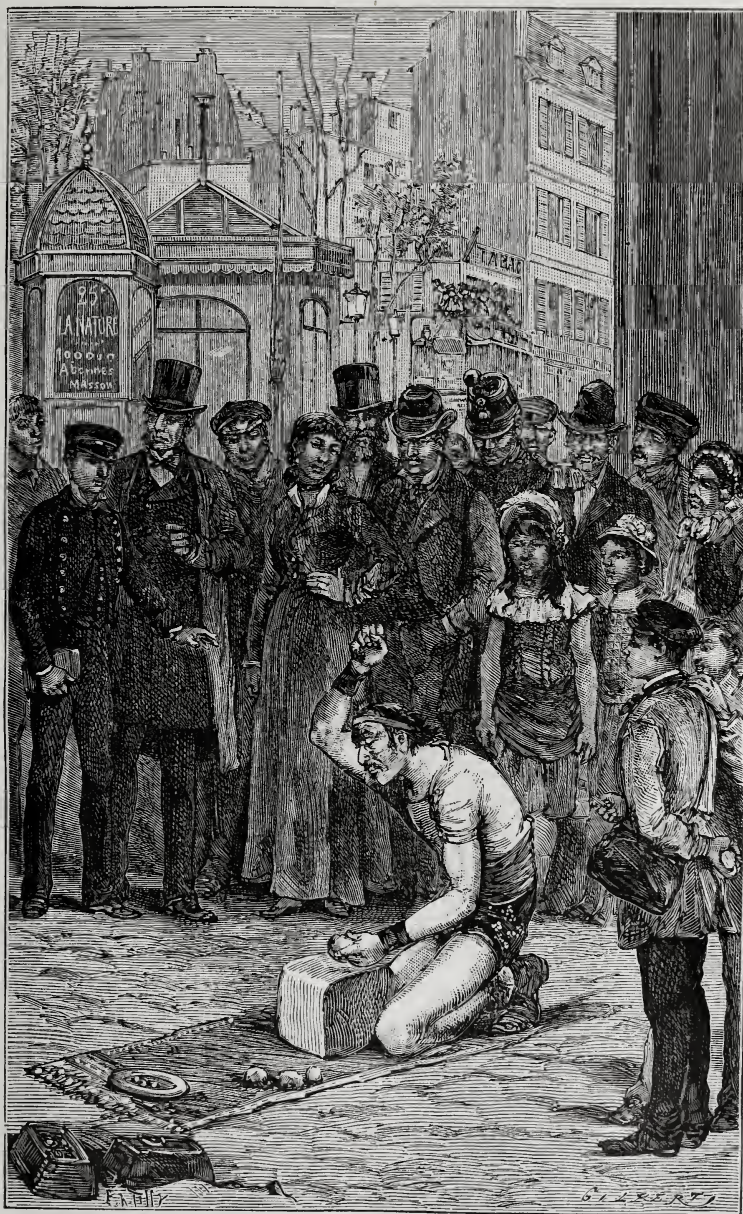


Fig. 36. — Saltimbanque cassant d'un coup de poing des cailloux de silex. (Page 54.)

viennent se rencontrer à l'endroit même où se trouve la flamme de la bougie ; ils l'éteignent alors, et cela, après avoir écarté l'air ambiant qui se trouve chassé pour livrer passage aux courants dont nous venons de parler, et qui ont pour les guider dans leur direction la surface polie de la bouteille.

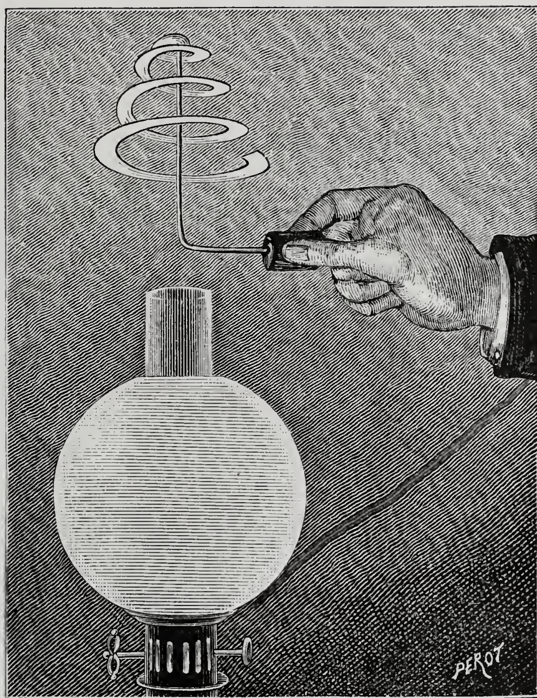


Fig. 37. — Spirale de carton mise en rotation par le mouvement ascendant d'un courant d'air chaud. (Page 60.)

Il est évident que l'on peut reproduire l'expérience en mettant la bougie derrière un tuyau de poêle, un cylindre en verre ou en métal, une boîte en fer-blanc cylindrique, etc., ou tout autre objet de même forme, d'un diamètre plus grand qu'une bouteille, mais ne présentant pas une surface rugueuse ou anguleuse, car les rugosités et les angles seraient des motifs pour la déperdition du souffle dans l'air ambiant.

L'expérience représentée par la figure 37 rentre dans le même genre de phénomènes ; elle est intéressante et peut être variée de différentes manières. On découpe une carte à jouer en une spirale que l'on allonge de manière que le centre puisse être posé sur une tige de fer recourbé. Si cette spirale est placée dans un courant d'air chaud ascendant, comme celui qui s'échappe de l'extrémité supérieure du verre d'une lampe allumée, elle se met à tourner assez rapidement. La spirale de papier peut être encore placée avec son support sur un poêle chaud.

Voilà une occasion de faire des dissertations sur le plan incliné, sur le mouvement de l'air, et sur la transformation de la chaleur en mouvement.

Posez quelques sous à plat sur une table, de manière qu'ils se touchent et qu'ils soient bien alignés suivant une même ligne droite. Prenez le sou qui commande la file et jetez-le contre les autres en le faisant glisser à distance ; le sou de l'autre extrémité s'échappera à la suite du choc, transmis par l'élasticité des pièces (fig. 38). Vous lancez deux pièces à la fois ; deux pièces s'échapperont à l'autre extrémité.

En parlant des forces, on se trouve ainsi conduit à étudier la force centrifuge. Pour la mettre en évidence, nous aurons recours à un simple verre à boire posé sur une rondelle de carton que des cordelettes maintiennent solidement ; nous y verserons de l'eau, et nous montrerons qu'en le faisant tourner comme une fronde, l'eau ne tombe pas, même quand le verre prend la position verticale de haut en bas (fig. 39).

Prenez un abat-jour de la main droite, comme le représente la gravure de la page 63 (fig. 40) ; à l'aide de la main gauche faites adroitement rouler une pièce de monnaie, une pièce de 10 centimes par exemple, contre la surface intérieure du cône ; au même moment, imprimez un mouvement de rotation à l'abat-jour, la pièce de monnaie roulera sans tomber. Si vous diminuez la vitesse de rotation, elle descendra peu à peu, tout en roulant, vers le fond du cône ; si vous augmentez la vitesse, la pièce remontera au contraire pour se rapprocher de la circonférence

supérieure. Le mouvement de la pièce une fois lancée se continue aussi longtemps qu'on accomplit le mouvement circulaire. La pièce est maintenue par l'action de la force centrifuge, et tourne inclinée, à la façon de l'écuyer d'un cirque. On peut avec de l'adresse faire rouler dans l'abat-jour deux pièces à la fois.

L'expérience que nous indiquons est facile à réaliser ; elle ne nécessite que quelques tâtonnements de mains, surtout pour

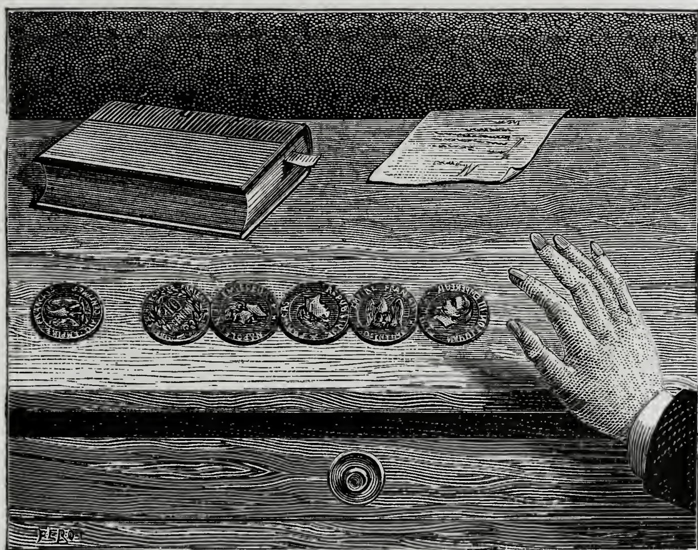


Fig. 38. — Expérience sur la transmission d'un choc par l'élasticité. (Page 60.)

lancer la pièce au moment du départ; mais elle n'exige pas de la part de l'opérateur une habileté exceptionnelle. Nous l'avons exécutée facilement, et nous l'avons fait exécuter à plusieurs personnes peu familières avec les jeux d'adresse.

A défaut d'un abat-jour, on peut se servir d'une cuvette, ou d'une terrine, ou d'un saladier; mais l'abat-jour de carton est plus léger et plus maniable.

Si tout le monde peut réussir l'expérience de l'abat-jour sans

aucun exercice préliminaire, il n'en est pas de même de celle que représente notre figure 41 (page 64). Elle consiste à soulever un rond de serviette que l'on fait tourner autour de l'index auquel on imprime un rapide mouvement de rotation ; cette expérience est difficile et exige une main très agile, mais nous l'avons

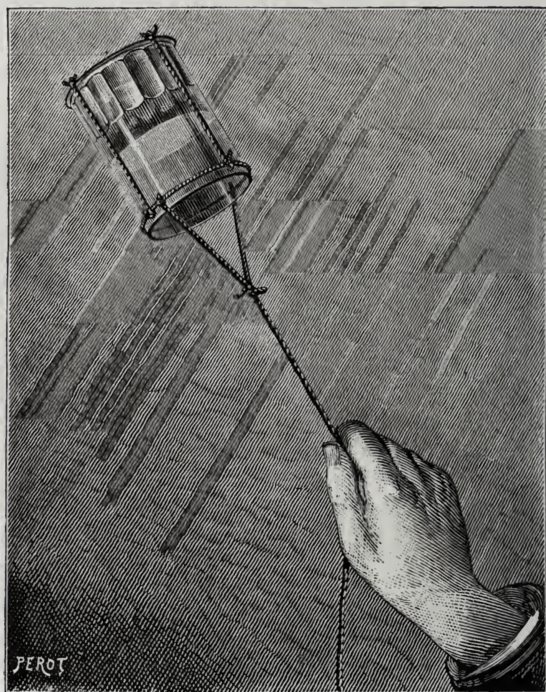


Fig. 39. — Eau maintenue dans un verre par l'action de la force centrifuge. (Page 60.)

vu réussir cependant d'une façon parfaite. On place l'index verticalement au milieu du rond de serviette qui doit être léger et peu massif; on fait tourner le rond autour du doigt, et cela le plus rapidement possible. Grâce à l'action de la force centrifuge et à la résistance du frottement, on arrive à entraîner le rond tout en soulevant peu à peu sa main en rotation. Il n'est pas impossible d'amener le rond jusqu'au-dessus du goulot d'une

bouteille où on le laisse tomber. Ce petit exercice est un de ceux que l'on fait à la fin d'un repas ; en dehors de son côté futile, il peut être l'objet de considérations physiques intéressantes.

Nous rappellerons encore ici l'exercice d'adresse que font certains jongleurs et qui consiste à faire courir une pièce de 5 francs en argent sur le sommet d'un parasol japonais en papier dont on trouve actuellement de si nombreux spécimens. Le pa-

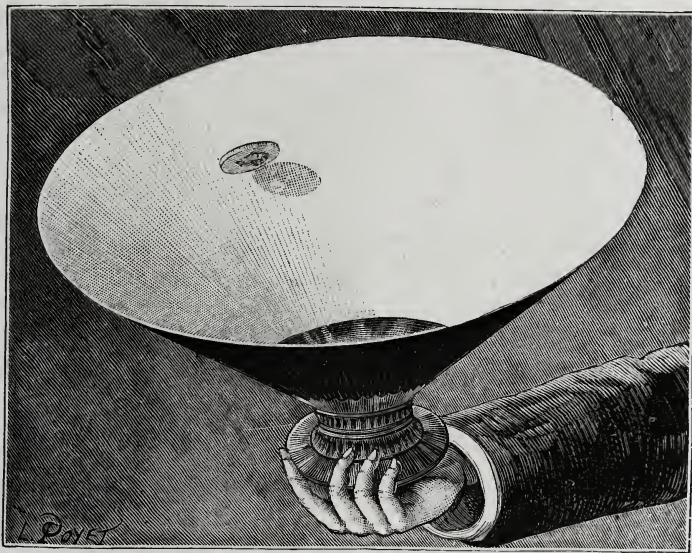


Fig. 40. — La force centrifuge démontrée à l'aide d'un abat-jour et d'une pièce de monnaie. (Page 60.

rasol tourne très vite et la pièce de 5 francs semble rester immobile aux yeux du spectateur; c'est en réalité le parasol qui tourne sous la pièce (fig. 42). Il y a là encore un exemple du principe de l'inertie. J'ai vu exécuter ce tour d'adresse par des acrobates japonais qui ont jadis donné des représentations au Cirque des Champs-Élysées à Paris : mais cette expérience comme celle du rond de serviette nécessite beaucoup d'adresse, et ne réussit qu'entre des mains exercées. Elle se rattache en réalité aux exercices des prestidigitateurs.

HYDROSTATIQUE. — SIPHONS. — CAPILLARITÉ.

Les principes de l'hydrostatique peuvent être expliqués très facilement. Il est facile de faire connaître d'une manière très simple le principe d'Archimède. On prend un corps de



Fig. 41. — Rond de serviette soulevé par un rapide mouvement de rotation. — Force centrifuge et résistance de frottement. (Page 62.)

forme aussi peu régulière qu'on le voudra, une pierre par exemple. On attache cette pierre par un fil et on l'immerge dans un verre à boire plein d'eau jusqu'au bord. L'eau déborde ; il s'en écoule nécessairement un volume égal à celui de la pierre. On essuie le verre ainsi vidé partiellement. On le place sur le bassin d'une balance, on établit l'équilibre, avec du plomb de chasse

placé sur l'autre bassin. Cela fait, on apporte un vase plein d'eau et on y fait plonger la pierre suspendue au plateau de la balance, en soulevant ce vase à l'aide de briques. L'équilibre est rompu ; pour le rétablir, il suffit de remplir d'eau le verre à boire placé sur le plateau du côté de la pierre, c'est-à-dire de remettre dans le verre le poids d'un volume d'eau précisément égal à celui de la pierre.

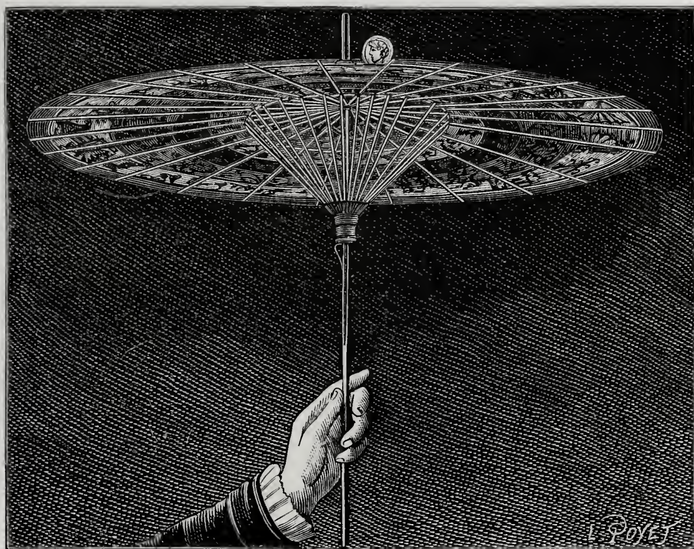


Fig. 42. — Pièce de monnaie roulant sur un parasol japonais. (Page 63.)

Veut-on faire comprendre les principes relatifs aux vases communiquants, donner la notion des jets d'eau, des puits artésiens, etc. ; deux entonnoirs reliés entre eux par leur tube inférieur à l'aide d'un simple tuyau de caoutchouc d'une certaine longueur serviront à la démonstration ; il suffira d'y verser de l'eau et de montrer que l'eau déborde du second entonnoir si on la verse abondamment dans le premier entonnoir placé à un niveau plus élevé.

Un disque de carton et un verre de lampe nous permettront de

faire comprendre la nature de la pression de bas en haut exercée par les liquides. J'ai appliqué sur l'ouverture d'un verre de lampe une rondelle de carton, que je retiens à l'aide d'une cordelette ; je plonge le tube ainsi fermé dans un vase rempli d'eau. La rondelle est maintenue par la poussée du liquide de bas en haut. Pour la séparer de l'ouverture, il suffit de verser de l'eau dans le tube jusqu'à la hauteur du niveau extérieur (fig. 43). La pression extérieure exercée sur le disque est donc égale, comme celle qui s'exerce en dedans, au poids d'une colonne d'eau ayant pour base la surface de l'ouverture du tube et pour hauteur la distance de la rondelle au niveau.

Les seringues, les pompes, etc., sont des effets de la pression atmosphérique. Les ballons s'élèvent en vertu de la poussée des gaz (le ballon est un corps plongé dans un gaz et par conséquent soumis aux mêmes lois qu'un corps plongé dans un liquide)[1].

Les bateaux flottent à cause de la poussée des liquides ; l'eau jaillit d'une fontaine, par la pression des liquides.

Les expériences relatives à l'hydrostatique et à l'écoulement des liquides s'appliquent facilement à la confection de petits appareils intéressants. Nous n'avons jusqu'ici rien dit du siphon : nous le présentons plus loin sous une forme curieuse connue sous le nom de *vase de Tantale* (fig. 44). Un personnage découpé dans du bois est disposé au milieu d'un vase de verre dans l'attitude d'un homme qui veut boire. Si l'on verse lentement de l'eau dans ce vase, on reconnaît qu'il est impossible de faire monter le niveau de l'eau au-dessus de la ligne horizontale AB : le malheureux Tantale voit toujours l'eau rester à proximité de ses lèvres. Ce phénomène s'obtient à l'aide d'un siphon recourbé dissimulé dans la statuette, et dont la branche d'écoulement, placée dans le pied du vase perforé, traverse la partie supérieure

[1] Quand on place un grain de raisin sec au fond d'un verre rempli de vin de champagne, on voit des bulles de gaz s'y attacher; le grain de raisin monte à la surface du liquide où les bulles crèvent et se dégagent ; il retombe alors pour recommencer bientôt son ascension.

d'une table percée d'un trou. Quand le niveau de l'eau s'élève en AB, le siphon immergé, représenté sur notre figure en pointillé, s'amorce spontanément, et le liquide s'écoule au-dessous de la table, en C.

Découpez une lanière de drap, plongez-la dans l'eau, et dis-

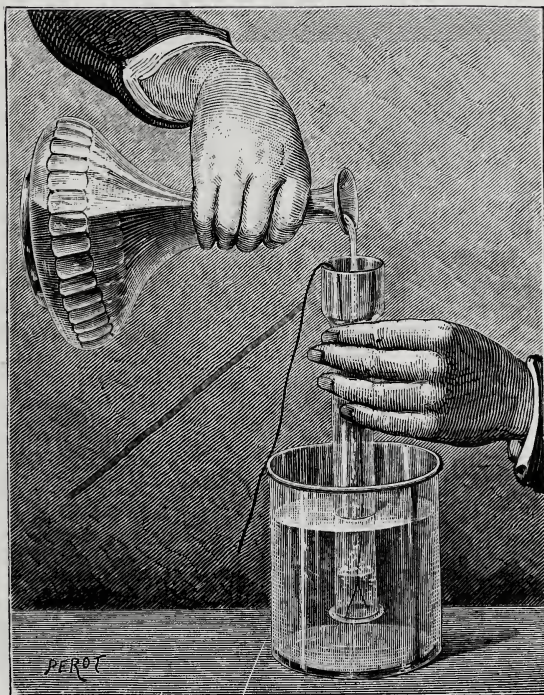


Fig. 43. — Démonstration de la pression exercée de bas en haut par les liquides. (Page 66.)

posez-la ensuite de telle façon qu'elle trempe dans deux verres placés à différents niveaux (fig. 45) ; si le verre supérieur est rempli d'eau, cette eau passera, en une heure de temps environ, dans le verre inférieur. La lanière de drap aura par capillarité joué le rôle de siphon.

Les phénomènes particuliers qui se manifestent quand on observe le niveau des liquides dans des espaces très étroits,

comme dans un tube de verre mince, ou entre deux lames très rapprochées, les phénomènes capillaires, ne nécessitent aucun appareil spécial pour être mis en évidence; il en est de même pour la convexité ou la concavité des ménisques. La figure 46 représente une jolie expérience de physique amu-

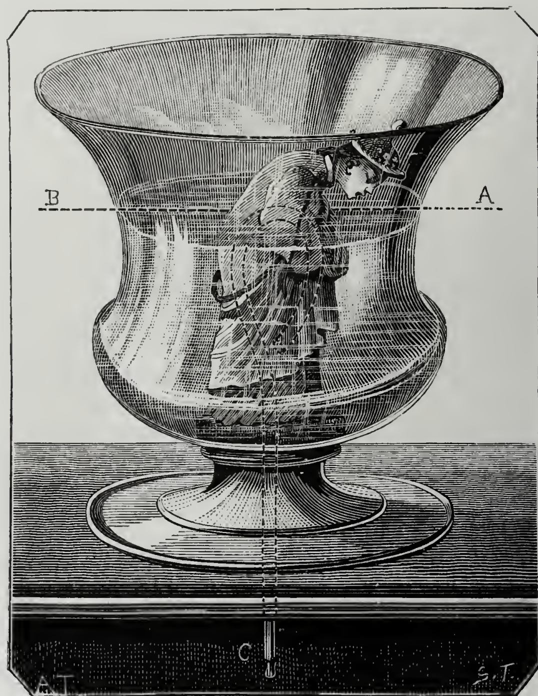


Fig. 44. — Vase de Tantale. (Page 66.)

sante, faite au sujet de ces phénomènes. On prend un verre à boire, que l'on remplit d'eau jusqu'au bord, en ayant soin toutefois que le ménisque soit concave. On place à côté une pile de pièces de 5 francs ou de pièces de 10 centimes à défaut des premières. On interroge alors les assistants, et on leur demande combien de pièces on pourra jeter dans le verre sans faire déborder le liquide qu'il contient. Toute personne qui ne connaît pas cette

expérience, répondra qu'on n'en pourra mettre qu'une ou deux, tandis qu'il est possible d'en faire tenir un nombre considérable, jusqu'à dix ou douze. Quand on fait tomber les pièces avec précaution et d'une main délicate (fig. 46), on voit la surface du liquide devenir de plus en plus convexe, et on est soi-même



Fig. 45. — Un siphon formé avec une bandelette de drap. (Page 67.)

étonné de l'importance que peut acquérir cette convexité avant que le liquide ne déborde.

A la suite de cette expérience, nous en mentionnerons une relative aux tourbillons annulaires des gaz ; elle peut être faite avec une boîte formée de cartes à jouer (fig. 47).

On pratique un trou dans une des parois de la boîte que l'on remplit avec la bouche de fumée de tabac. L'impulsion du pouce

sur la membrane inférieure de la boîte de carton fait sortir par l'orifice, des anneaux de fumée d'une remarquable régularité.

Tout le monde a vu certains fumeurs adroits lancer de leur bouche ou de leur pipe de jolies couronnes blanches dont on aime à suivre dans l'air calme les tournoiements vaporeux. C'est

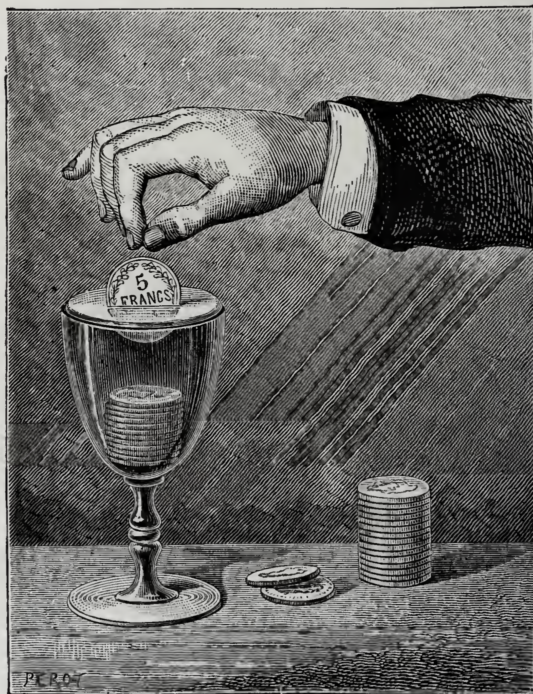


Fig. 46. — Expérience sur la convexité des ménisques. (Page 68.)

un fait d'observation journalière qu'une goutte d'eau savonneuse échappée du bout des doigts s'élargit dans la cuvette en forme d'anneau parfait qui grandit avec lenteur en gagnant le fond.

Ces observations se rattachent aux phénomènes des tourbillons annulaires ; elles ne sont pas futiles et peuvent devenir intéressantes : il n'y a rien de banal à qui sait voir, rien d'indifférent à qui sait observer.

ÉQUILIBRE DES CORPS. — CENTRE DE GRAVITÉ.

Les notions relatives au poids des corps, au centre de gravité, à l'équilibre stable ou instable, peuvent être facilement enseignées et démontrées au moyen d'un grand nombre d'objets tout à fait familiers. Quand on met entre les mains d'un enfant une boîte de soldats découpés dans de la moelle de sureau fixée à la

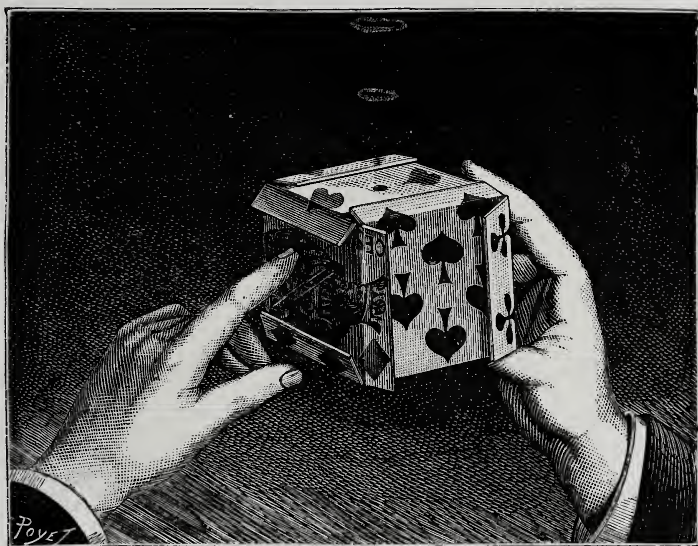


Fig. 47. — Mode de formation d'anneaux de fumée. (Page 69.)

moitié d'une balle de plomb, et connus sous le nom de *Prussiens*, on lui donne l'occasion de faire des expériences faciles sur le centre de gravité. Au dire de quelques équilibristes, il n'est pas impossible, avec un peu de patience et de délicatesse de main, de faire tenir un œuf en équilibre sur un de ses bouts. Pour essayer cette expérience on doit l'exécuter sur un plan bien horizontal, une cheminée de marbre par exemple. Si l'on réussit à faire tenir l'œuf debout, c'est, comme l'indiquent les plus élé-

mentaires principes de la physique, que la verticale du centre de gravité passe par le point de contact du bout de l'œuf avec le plan sur lequel il s'appuie.

Notre figure 48 reproduit une curieuse expérience d'équilibre, qui s'exécute avec beaucoup plus de facilité. On pique deux fourchettes dans un bouchon de liège ; on place le bouchon sur le bord du goulot d'une bouteille. Les fourchettes et le bouchon



Fig. 48. — Expérience sur le centre de gravité. (Page 72.)

forment un ensemble dont le centre de gravité est fixé au-dessus du point d'appui ; on peut pencher la bouteille, la vider même si elle est pleine de liquide, sans que le système qu'on y a posé perde son équilibre. La verticale du centre de gravité passe toujours par le point d'appui, et les fourchettes oscillent avec le bouchon qui leur sert de support, formant un édifice mobile, mais beaucoup plus stable qu'on ne serait tenté de le supposer. Cette expérience curieuse s'exécute souvent par des prestidigitateurs, qui annoncent aux spectateurs devant lesquels ils font

leurs tours, qu'ils se chargent de vider une bouteille en laissant le bouchon sur son goulot.

Nous avons déjà fait connaître ce tour d'équilibre en 1873, dans le *Magasin pittoresque*, où, peu de temps après, un lecteur publia la même expérience sous une forme un peu plus compli-

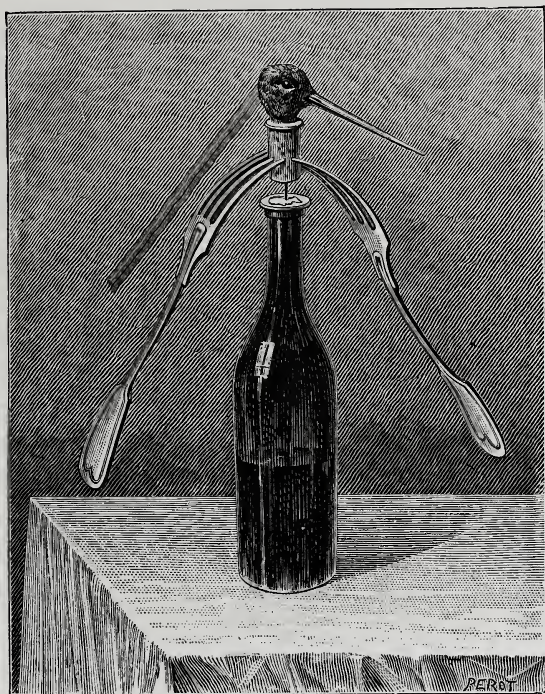


Fig. 49. — Autre expérience sur le centre de gravité. (Page 73.)

quée. « Si l'on sert une bécasse dans un repas, ou tout autre oiseau à long bec, on en sépare la tête en bas du cou ; on fend un bouchon de manière à pouvoir y introduire le cou de l'oiseau, qui doit être suffisamment serré, puis on adapte au bouchon deux fourchettes, exactement comme dans l'expérience précédente ; ensuite on enfonce une épingle sous le bouchon. On place ensuite ce petit appareil sur une pièce de monnaie mise à plat sur

l'orifice du goulot de la bouteille ; et enfin, lorsque l'équilibre est bien assuré, on imprime un mouvement de rotation à l'une des fourchettes, assez rapidement même, si l'on veut, mais autant que possible sans secousse (fig. 49). Alors on voit tourner sur leur pivot, qui n'est qu'une simple tête d'épingle, les deux fourchettes et le bouchon surmonté de la tête de bécasse. Rien n'est comique comme le long bec de l'oiseau se tournant successivement vers chacun des convives, réunis autour de la table, et quelquefois, avec de singuliers petits mouvements oscillatoires qui donnent à cette tête un faux air de vitalité. Ce mouvement de rotation dure assez longtemps. Parfois on ouvre des paris sur cette question : — Devant quel convive le bec s'arrêtera-t-il [1] ? »

Voici une autre expérience d'équilibre qui est très saisissante et très facile à réussir. On prend une clef, à l'extrémité de laquelle on enfonce un clou à crochet. On adapte le crochet de ce clou à une règle de bois, au moyen d'une cordelette bien liée. A la partie inférieure de la règle on suspend un poids de 50 à 100 grammes. Cela fait, on implante une épingle à grosse tête sur le bord d'une table ; la clef munie de son système peut y être posée en équilibre, comme l'indique la figure 50. Elle tourne même sur son étroit support sans tomber. Est-il nécessaire de dire que l'explication de ce fait réside dans l'action du poids, qui, par la déviation de la règle rigide, se trouve situé sous la table ? Le centre de gravité du système est exactement au-dessous du point de suspension.

Si l'on enfonce la pointe de deux couteaux dans une règle de bois, comme le montre notre gravure (fig. 51), et que l'on fixe une aiguille à l'extrémité de la règle, comprise entre les deux manches de couteaux, le système pourra être mis en équilibre sur la pointe d'une autre aiguille A, enfoncée verticalement dans un bouchon.

L'expérience que représente la figure 52 et qui consiste à placer un objet sur trois bâtons posés de telle sorte qu'ils aient

[1] *Magasin pittoresque*, 1874, p. 180.

chacun une extrémité en l'air au-dessus d'une surface plane sur laquelle s'appuie leurs autres extrémités, est extrêmement ancienne ; elle est indiquée dans des livres de *Récréations scientifiques* du seizième siècle. Ozanam, dans ses *Récréations mathématiques et physiques*, la décrit de la manière suivante :

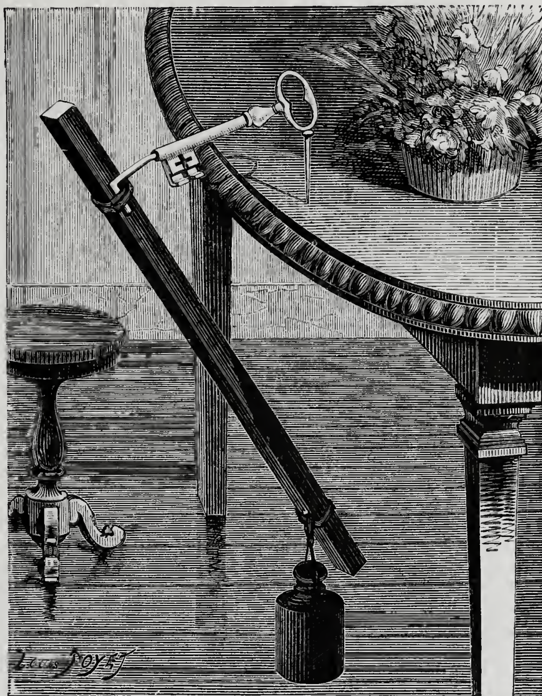


Fig. 50. — Expérience d'équilibre faite avec une epingle, un clou, une clef, une règle de bois et un poids. Centre de gravité. (Page 74.)

« *Disposer trois bâtons sur un plan horizontal, en sorte que chacun s'appuie sur ce plan par l'une de ses extrémités, et que l'autre extrémité demeure élevée en l'air.*

« Pour faire que trois couteaux se soutiennent les uns les autres élevés en l'air, lorsqu'ils sont appuyés chacun par un de leurs bouts sur une table, quand même ils seraient chargés d'un poids, sans que jamais ils puissent tomber ; inclinez sur cette

table l'un des trois bâtons, en sorte que s'appuyant sur la table par son extrémité, l'autre extrémité soit élevée en l'air. Mettez en travers, au-dessus de ce bâton, l'un des deux autres bâtons élevé pareillement en l'air par son extrémité et portant sur la table par son autre extrémité. Enfin disposez comme un triangle le troisième bâton en sorte que, s'appuyant sur la table par l'une des extrémités, il passe au-dessous du premier, et pose sur le second. Alors ces trois bâtons se croisant de la sorte se soutiendront mutuellement et ne pourront tomber en les chargeant de quelques poids, à moins qu'ils ne se plient ou ne se rompent par la trop grande pesanteur du poids, qui étant médiocre servira plutôt à les affermir, et à les maintenir ainsi élevés en l'air par un de leurs bouts, qu'à les faire tomber. »

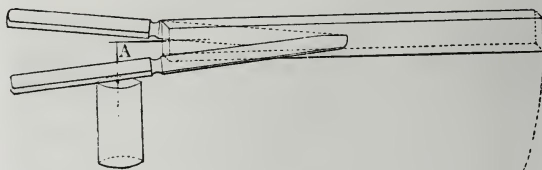


Fig. 51. — Autre expérience d'équilibre. Centre de gravité. (Page 74.

L'expérience s'exécute facilement comme nous le figurons ci-contre, avec trois règles de bois au-dessus desquelles on pose un verre à boire ou tout autre objet.

On peut à peu près de la même façon poser trois couteaux sur trois verres, comme le représente la figure 53. Non seulement en disposant convenablement les couteaux, lames contre lames, ils se soutiennent mutuellement, mais il est facile d'y placer un objet assez lourd tel qu'une carafe remplie d'eau, sans que l'équilibre du fragile édifice soit en aucune façon rompu.

Voici encore une très ancienne expérience sur le centre de gravité (fig. 54) : elle consiste à faire tenir un seau plein d'eau dont l'anse est passée au-dessus d'un bâton AB simplement posé sur le bord d'une table. Pour réussir cette expérience qui paraît invraisemblable, il suffit de placer une ba-

guette CD de longueur convenable entre la pointe B du bâton de suspension et le fond du seau. Le système ainsi consolidé forme en quelque sorte une seule masse, et le seau est facilement maintenu dans la position indiquée par la gravure parce que tout le centre de gravité du système est au-dessous du

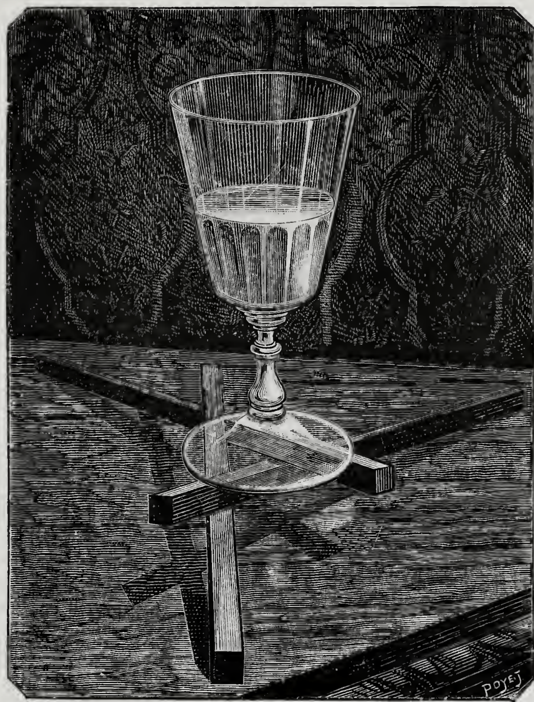


Fig. 52. — Curieuse expérience d'équilibre avec trois bâtons. (Page 74.)

point de suspension situé à peu près au milieu du bâton AB.

Un de nos amis qui a longtemps voyagé en Afrique nous a communiqué d'autre part une expérience d'équilibre très curieuse, qu'il a vu souvent exécuter jadis par des soldats français en Algérie, alors qu'ils se trouvaient sur un sol marécageux et qu'ils n'avaient rien pour s'asseoir ; les soldats s'asseyaient sur les genoux les uns des autres comme le montre notre figure 55, et

quand ils étaient un grand nombre, ils se plaçaient circulairement de telle sorte que le soldat qui terminait la file trouvait à s'asseoir sur les genoux de celui qui l'avait commencée. Ils formaient ainsi une véritable chaîne circulaire sans discontinuité. Nous recommandons à nos collégiens d'essayer entre eux ce

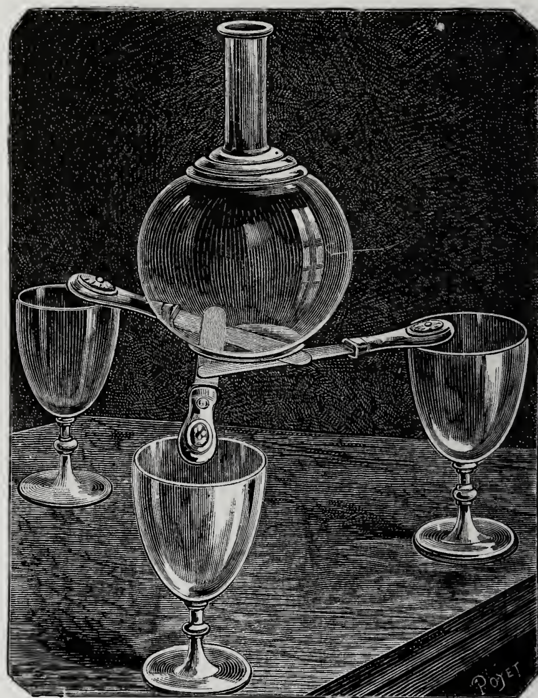


Fig. 53. — Autre expérience d'équilibre avec trois couteaux. (Page 76.)

mode de repos, quand ils seront réunis à la fin des vacances.

Les expériences sur le centre de gravité sont, comme on le voit, très nombreuses et très variées. On peut en réaliser une avec un jeu de dominos.

La figure 56, qui la représente, s'explique d'elle-même. Elle montre le moyen de faire tenir un jeu complet de dominos sur un seul dé placé sur champ. On peut, pour faciliter

la construction, commencer par placer trois dés sur champ, et par établir la construction sur une base solide. On retire délicatement les deux dés qui avaient servi de support et on les pose sur le monument fragile. L'équilibre a lieu pourvu que la verticale menée du centre de gravité du sys-

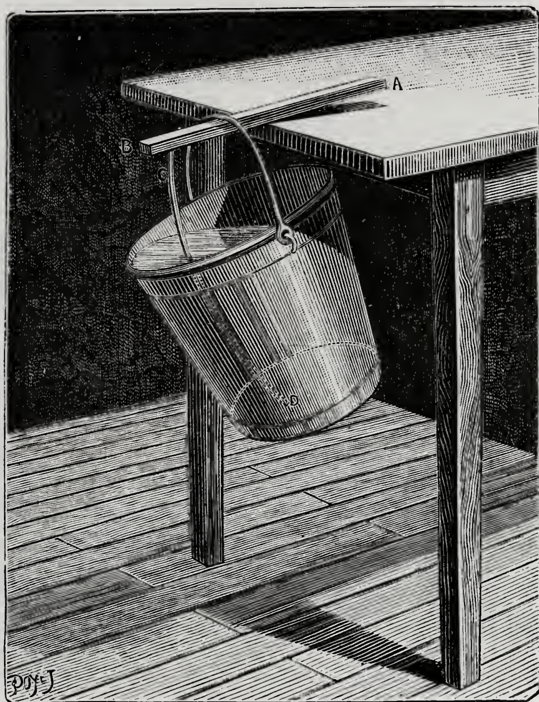


Fig. 54. — Seau en équilibre sur un bâton. (Page 76.)

tème passe par la base de sustentation du domino inférieur.

Puisque nous tenons en mains un jeu de dominos, ne le quittons pas sans faire connaître une expérience d'inertie faite, comme la première, avec des dominos.

Voici comment on prépare l'expérience : on place premièrement deux dominos debout, puis un autre dessus, en forme de porte, les faces blanches étant en regard intérieurement. Sur le

domino horizontal on en place un quatrième, les faces noires en contact. Enfin, sur ce quatrième domino, on en dispose deux autres verticalement, puis un dernier en travers, comme dans la figure de la page 82 (fig. 57).

L'expérience consiste à éliminer rapidement le domino horizontal inférieur sans troubler le reste de l'échafaudage. A cet effet, on dispose en avant un domino couché sur l'un de ses



Fig. 55. — Expérience d'équilibre. Manière de s'asseoir sans chaise. En se plaçant en rond, les hommes peuvent former une chaîne circulaire continue. (Page 77.)

plus grands côtés AB et à une distance convenable, pour que, en passant l'index entre les deux dominos inférieurs, et en appuyant fortement son extrémité en E, on détermine, par un mouvement brusque en arrière, le redressement rapide de AB suivant AC.

Si ce redressement est convenablement exécuté, l'angle D vient frapper subitement le domino horizontal inférieur et le

chasse dans la direction de la flèche F, déplacement suivi de la descente instantanée du cadre supérieur sur les deux dominos formant pieds droits.

Cette expérience est d'autant plus facile qu'on opère sur une surface moins polie, avec des dominos plus minces, et à surfaces

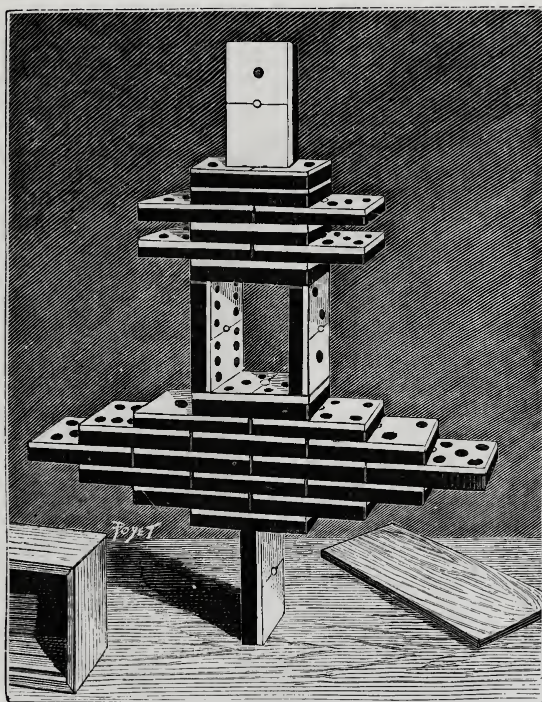


Fig. 56. — Expérience sur le centre de gravité, faite avec un jeu de dominos. (Page 78.)

plus lisses. Avec des dominos très épais, elle est presque impossible.

Revenons au centre de gravité.

Dans les cabinets de physique se trouvent souvent des cylindres de bois qui remontent sans impulsion des plans inclinés. Un tel fait surprend au premier abord ; il cesse d'étonner quand on sait que le centre de gravité est situé tout près du bord du cylindre à cause d'une masse de plomb qu'on y a incrustée.

La figure 58 représente très fidèlement un jouet qui se vend sur les boulevards de Paris à l'époque du premier de l'an. Ce petit appareil, qui est connu depuis très longtemps, est une des plus charmantes applications des principes relatifs au centre de gravité. Avec un peu d'habileté, on peut le construire soi-même.

Fig. 57. — Expérience relative à l'inertie, exécutée avec des dominos. (Page 80.)

Il consiste en deux petits pantins qui tournent autour d'axes adaptés à deux tubes parallèles, contenant du mercure. Quand on pose le système dans la position de la figure 59, le mercure étant en *a*, les deux poupées restent immobiles, mais si l'on abaisse la poupée S de manière à ce qu'elle pose sur la deuxième marche (n° 2) de l'escalier, comme l'indique la figure 60, le mercure descend en *b* à l'autre extrémité du tube ;

le centre de gravité se trouve brusquement déplacé : la poupée R accomplit une révolution complète dans le sens indiqué par la flèche (fig. 60) et vient se poser sur la marche n° 3 : le même effet se reproduit pour la poupée S, et ainsi de suite autant de fois qu'il y a de gradins.

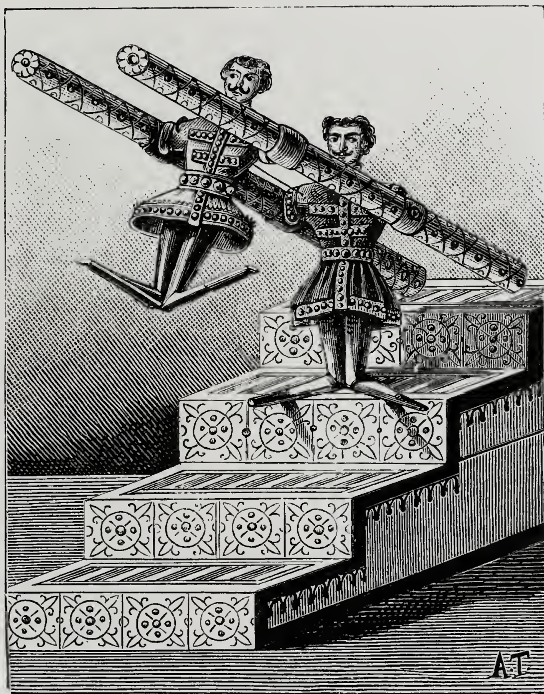


Fig. 58. — Pantins automatiques. (Page 82.)

On peut remplacer les pantins par un cylindre creux en papier bristol, fermé à ses deux extrémités et contenant une bille : le cylindre, posé verticalement sur un plan incliné, descend à la façon des pantins.

Les lois de l'équilibre et du déplacement du centre de gravité sont observées rigoureusement par les jongleurs, qui arrivent à de véritables prodiges, généralement facilités du reste à l'aide du

mouvement de rotation imprimé aux corps sur lesquels ils opèrent et qui fait intervenir la force centrifuge. Le jongleur qui

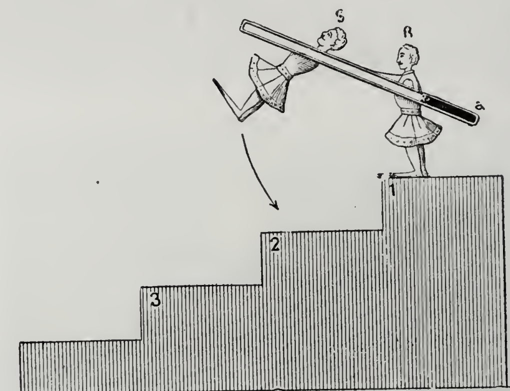


Fig. 59. — Coupe de l'appareil. Première position des pantins. (Page 82.)

tient en équilibre sur son front une mince baguette, à l'extrémité de laquelle tourne une assiette, ne réussirait jamais à répéter cette expérience, si l'assiette n'était pas mise en rotation

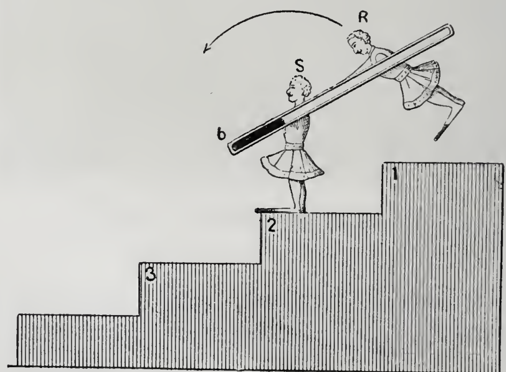


Fig. 60. — Deuxième position des pantins. (Page 82.)

avec une très grande rapidité autour de son axe. C'est que, par suite de ce mouvement circulaire, le centre de gravité se dé-

place tout autour du point d'appui. Inutile de rappeler que c'est aussi le mouvement de la toupie qui tend à la tenir verticale.

Les expériences de la physique mécanique pourraient être imaginées en grand nombre. Pour terminer l'énumération de celles que nous avons réunies à ce sujet, nous mentionnerons la

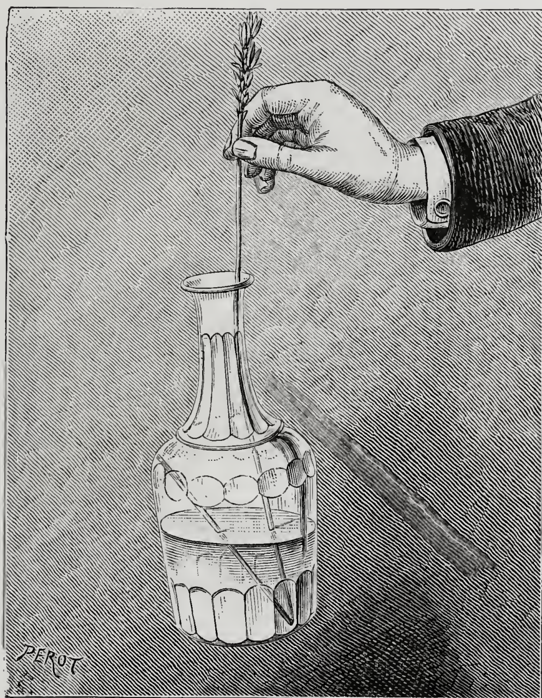


Fig. 61. — Carafe à moitié pleine d'eau, soulevée au moyen d'une paille. (Page 85.)

manière de soulever une carafe pleine d'eau au moyen d'une simple tige de paille.

On plie la paille avant de l'introduire dans le vase de verre, de telle façon qu'un brin oblique travaille par compression quand on la soulève. La figure 61 montre très nettement comment il faut opérer. Il est bon d'avoir à sa disposition quelques tiges bien intactes, sans cassures antérieures, afin de pouvoir

les remplacer, si on vient à les briser dans des premiers essais.

LA CHALEUR.

L'étude de la chaleur et du calorique peut être sommairement entreprise sans aucun appareil.

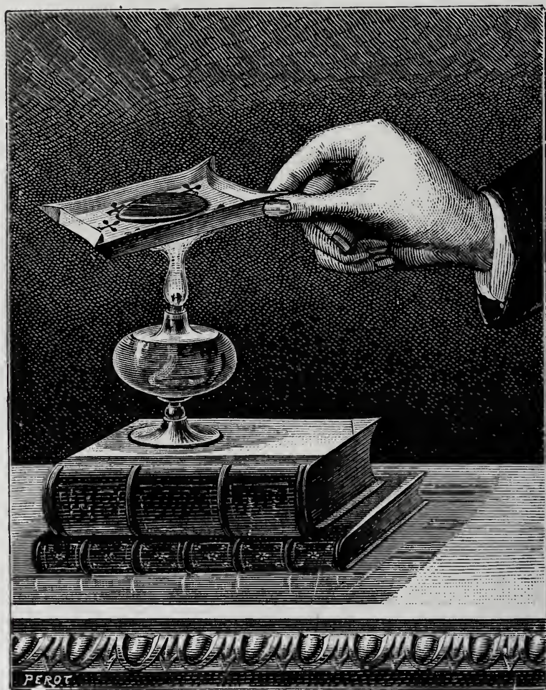


Fig. 62. — Fusion de l'étain dans une carte à jouer. (Page 87.)

Veut-on mettre en évidence le grand pouvoir conducteur des métaux, on applique une fine toile de mousseline sur une masse de métal poli, de manière que le contact soit bien établi. On place sur la mousseline une braise incandescente, dont on excite la combustion par le souffle; la mousseline n'est nullement brûlée, la chaleur est entièrement absorbée par le métal, qui l'en-

lève à travers le tissu pour la disséminer dans sa masse.

Il est facile de faire fondre de l'étain dans une carte à jouer chauffée sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin (fig. 62).

Il faut avoir bien soin de chauffer la carte avec précaution, et autant que possible dans les parties qui se trouvent en contact avec le métal. La chaleur se trouve entièrement absorbée par l'étain à la fusion duquel elle ne tarde pas à donner naissance.

Les expériences de cette nature nécessitent parfois quelques tâtonnements et quelques exercices préparatoires de la part de l'opérateur ; dans le cas d'insuccès il est bon de recommencer à plusieurs reprises jusqu'à ce que l'on ait obtenu le résultat voulu.

C'est par un effet tout semblable que les métaux nous paraissent froids quand nous y posons la main ; par leur conductibilité, ils enlèvent la chaleur à notre main, et nous donnent cette impression particulière que nous n'éprouvons pas au contact de corps mauvais conducteurs, comme le bois, les tissus de laine, etc.

Une cuillère d'argent est brûlante quand elle plonge dans une tasse de thé bouillant, parce qu'elle conduit bien la chaleur ; une cuillère en bois, en ivoire ou en tout autre corps mauvais conducteur du calorique, ne produit aucunement la même sensation.

La figure 63 montre la manière de faire bouillir de l'eau dans du papier. On façonne une petite boîte en papier comme les écoliers savent en faire ; on la suspend par quatre fils à une tige de bois maintenue horizontalement à une hauteur convenable. On remplit d'eau ce vase improvisé et on le place sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin. Le papier n'est nullement brûlé parce que l'eau absorbe toute la chaleur nécessaire à son changement d'état. Au bout de quelques minutes, cette eau arrive à bouillir, à dégager des vapeurs, et le papier reste intact. Il est bon d'opérer au-dessus d'une assiette creuse afin que l'eau soit recueillie en cas d'accident. Le vase de papier doit être chauffé de telle façon que la flamme touche seulement les par-

ties qui se trouvent en contact avec l'eau. Partout ailleurs le papier brûlerait immédiatement.

Cette expérience est délicate et nécessite quelques précautions, mais nous l'avons réussie à plusieurs reprises, en la disposant comme la représente notre gravure. La règle servant

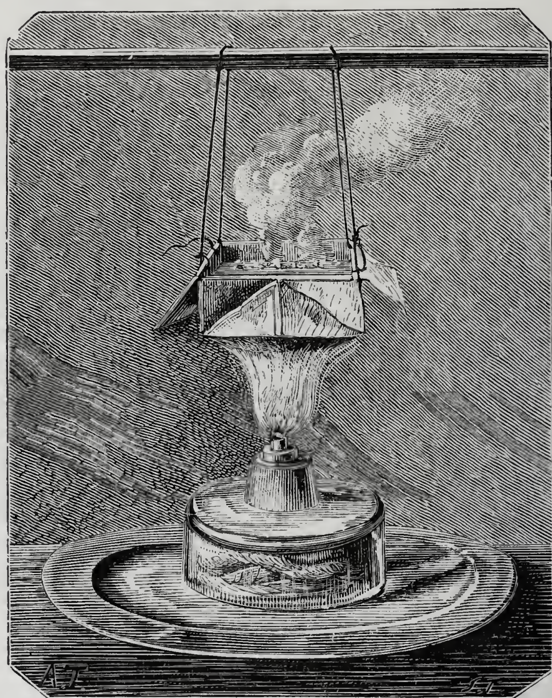


Fig. 63. — Ébullition de l'eau dans un vase de papier. (Page 87.)

de support peut être posée horizontalement sur deux carafes.

On peut encore se servir d'une coquille d'œuf comme petite marmite pour chauffer de l'eau. Quand on mange un œuf à la coque on met de côté la coquille vide et on y verse une petite quantité d'eau ; cela fait, on la soutient par un petit anneau de fil de fer que l'on a préparé à l'avance. Dans ces conditions, elle peut être chauffée sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin sans être en aucune façon endommagée.

Le petit jouet que représente la gravure ci-dessous (fig. 64) est très ingénieux ; il se rattache aux principes de la dilatation des gaz par la chaleur. Nous l'avons acheté à un marchand en plein air qui le vendait aux passants sous le nom de *Diable captif.* Il consiste en un matras de verre mince, fermé à la lampe. Le récipient inférieur est enduit d'un vernis noir qui le rend opaque. On tient ce récipient à la main : presque aussi-

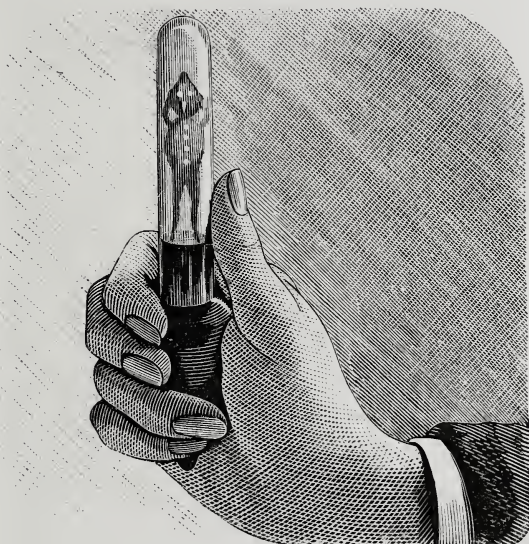


Fig. 64. — Le diable captif. (Page 89.)

tôt, on voit le liquide intérieur entrer en ébullition et soulever un petit diable en verre soufflé qui s'élève dans le col transparent du vase. Si l'on retire la main et que l'on reprenne le petit appareil par sa partie supérieure, le mouvement du liquide s'arrête, et le diable retombe dans le récipient où il est emprisonné.

La coupe du petit appareil (fig. 65) en fera comprendre le mode de fonctionnement.

Tous les gaz se dilatent sous l'influence de la chaleur : or, l'on

voit ici que le tube supérieur se termine en un tube capillaire, plongeant dans la petite ampoule. Une certaine quantité d'air se trouve renfermée en A A dans l'ampoule : si vous chauffez cet air avec la main, il se dilate, repousse le liquide dans le tube capillaire et le fait monter dans le grand tube, entraînant le petit flotteur de verre ; quand tout le liquide est chassé de l'ampoule, c'est l'air lui-même qui passe dans le grand tube, et comme il traverse le liquide, celui-ci paraît être en ébullition.

La figure 66 donne la disposition d'une remarquable expérience fort peu connue, sur la regélation de la glace. On pose un bloc de glace sur les bords de deux chaises de fer, ou de tout autre support ; on l'entoure d'un fil de fer, auquel on suspend un poids de 5 kilogrammes. Le fil de fer pénètre peu à peu dans la masse du bloc de glace ; après deux heures environ, il l'a traversé tout entier et le poids tombe à terre avec le fil de fer.

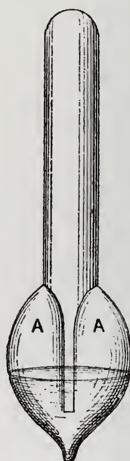


Fig. 65.

Qu'arrive-t-il du bloc de glace? Vous supposez sans doute qu'il est coupé en deux. En aucune façon, il est intact, en un seul morceau, comme auparavant. A mesure que le fil de fer a pénétré dans la masse, la fente qu'il a ouverte s'est refermée par la regélation.

La glace ou la neige pendant l'hiver peuvent servir à un assez grand nombre d'expériences relatives à la chaleur. Si l'on veut démontrer l'influence des couleurs sur le pouvoir rayonnant, on prend deux morceaux de drap de même grandeur, dont l'un est de couleur blanche et l'autre de couleur noire ; on les pose tous les deux sur la neige, autant que possible quand un rayon de soleil brille dans le ciel. Après un espace de temps assez court, on constate que la neige placée sous le drap noir a fondu beaucoup plus abondamment que celle qui se trouve au-dessous du drap blanc ; c'est que le noir absorbe de la chaleur beaucoup plus que le blanc, qui tend au contraire à la réfléchir. En touchant de

la main les deux draps, on s'aperçoit très nettement de la différence de température. Le drap blanc paraît frais en comparaison du drap noir.

Ces faits très simples nous expliquent pourquoi l'on se sert habituellement de vêtements de couleur blanche dans les pays

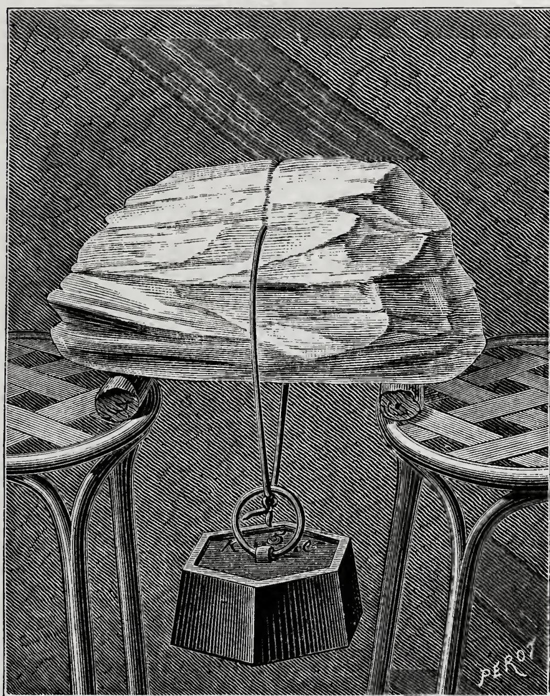


Fig. 66. — Expérience sur la regélation de la glace. (Page 90.)

chauds : c'est parce qu'ils ont un pouvoir rayonnant considérable.

Est-il nécessaire d'indiquer des expériences sur la dilatation des corps? On peut en faire partout avec une infinité d'objets ; de l'eau placée dans un ballon à col effilé, et approché du feu, permettra de constater la dilatation des liquides sous l'influence de la chaleur. On pourra façonner ainsi un véritable thermomètre.

Il est facile de se rendre compte, d'une manière analogue, de la dilatation des corps solides sous l'action de la chaleur ; mais nous n'insisterons pas sur ce genre d'expériences qui se trouvent décrites dans les traités spéciaux.

L'ACOUSTIQUE ET LES SONS.

L'étude de l'acoustique peut être abordée par la *Physique sans appareils*, comme celle des autres branches de la physique. Voici une expérience très intéressante qui donne une très bonne idée de la transmission des sons par les corps solides. On attache une cuiller d'argent ou de ruolz à un fil; on enfonce les deux extrémités de ce fil dans chaque oreille, comme le montre la figure 67 ; cela fait, on imprime un mouvement de balancement à la cuiller, et on lui fait ainsi toucher le bord d'une table ; la transmission du son est si intense au moment du choc de la cuiller contre la table, que l'on croirait entendre résonner un bourdon de cathédrale.

Vous prenez légèrement une montre à l'aide d'une paire de pincettes, dont vous placez la poignée supérieure tout contre votre oreille (fig. 68) ; le tic-tac s'entendra aussi distictement que si la montre était appuyée elle-même contre l'oreille. Si vous retirez la pincette en laissant la montre à la même place, vous vous rendrez compte, par la différence de l'audition, de l'excellente conductibilité des métaux pour le son.

Ces expériences expliquent parfaitement la transmission de la paroles par le téléphone à ficelle, autre appareil que l'on peut fabriquer soi-même avec la plus grande facilité. On adapte des rondelles de carton au fond de deux cylindres de fer-blanc, de la grosseur d'un verre de lampe et de 10 centimètres de hauteur. Si l'on réunit les deux cartons par un fil de soie long de 15 à 20 mètres, on pourra transmettre la parole d'un bout à l'autre de cette cordelette. Celui qui parle fait entendre sa voix dans le premier cylindre ; celui qui écoute appuie l'autre cylindre contre son oreille.

On a imaginé des appareils analogues à l'usage des personnes

sourdes ; ce sont des baguettes de bois à l'extrémité desquelles on parle, tandis que l'autre extrémité est placée dans l'oreille de la personne atteinte de surdité.

Parmi les expériences exécutées dans les cours par des professeurs ayant à leur disposition tout un cabinet de physique, et qui,

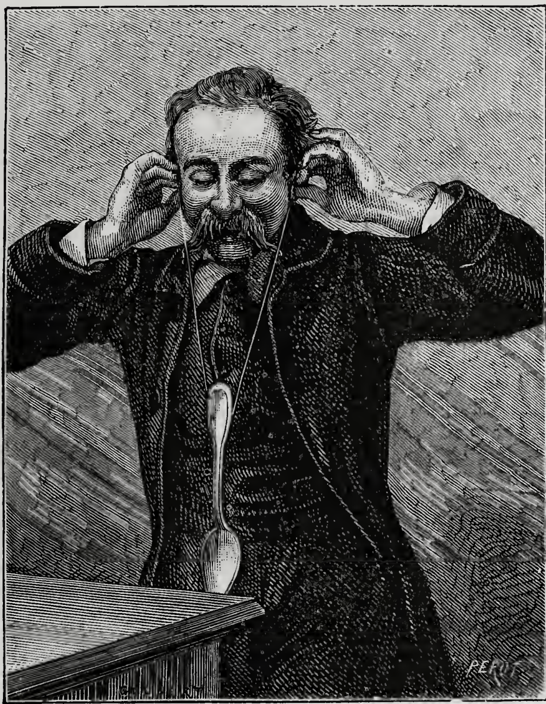


Fig. 67. — Conductibilité du son par les corps solides. (Page 92.)

au premier abord, semblent très compliquées, il en est cependant quelques-unes que l'on peut reproduire, avec des objets usuels. Est-il une expérience d'acoustique plus intéressante que celle de M. Lissajous, et qui consiste, comme le savent nos lecteurs, à projeter sur un tableau, à l'aide de la lumière oxhydrique, les courbes vibratoires tracées par l'extrémité de l'une des branches d'un diapason rendant un son ? Il est très facile d'exé-

cuter une expérience analogue au moyen d'une simple aiguille à tricoter. Vous plantez solidement la tige flexible d'acier dans un bouchon qui lui sert de support ; vous fixez à son extrémité supérieure, restée libre, une petite boule de cire à cacheter où vous collez une rondelle de papier de la dimension d'un pois.



Fig. 68. — Le tic-tac d'une montre entendu à l'extrémité d'une paire de pincettes. (Page 92.)

Si vous tenez solidement le bouchon d'une main, et que vous fassiez fortement vibrer l'aiguille, soit en l'écartant de sa position d'équilibre et en l'abandonnant à elle-même, soit en la frappant d'un coup énergique au moyen d'une règle de bois, vous verrez la petite boule de cire munie d'un index, décrire très nettement une ellipse plus ou moins allongée ou une circonférence, suivant l'intensité ou le nombre des vibrations. Le phénomène

est très sensible quand on a soin de faire vibrer la tige près d'une lumière qui l'éclaire bien ; dans ce cas, la persistance des impressions sur la rétine permet de voir en même temps la verge vibrante tout entière dans ses positions successives, et on croirait avoir sous les yeux l'image fugitive d'un vase co-

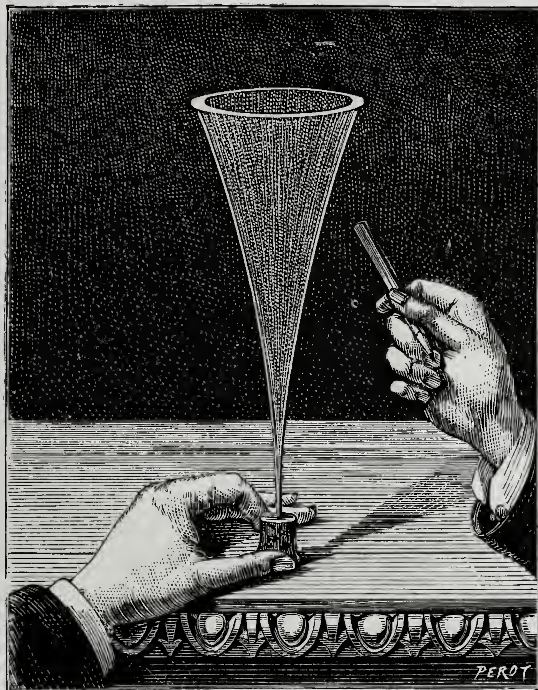


Fig. 69. — Expérience sur la vibration des verges. (Page 94.)

nique très allongé, comme un verre à champagne (fig. 69).

Il est facile de démontrer que le son met un certain temps pour se propager d'un point à un autre. Quand on voit au loin un charpentier qui enfonce un pieu, on reconnaît que le son produit par le choc du marteau contre le bois, n'arrive à l'oreille que quelques secondes après le contact des deux objets. On voit jaillir la flamme produite par la combustion de la poudre dans un

fusil, bien avant d'entendre le son produit par l'arme à feu, à condition toutefois qu'on se trouve à une distance assez considérable.

On peut montrer la génération de la gamme en découpant de petites plaques de bois de différentes grandeurs, et en les jetant successivement sur une table ; les sons produits sont différents



Fig. 70. — Les verres chanteurs. (Page 96.)

suivant la grandeur des morceaux découpés. Le même effet peut s'obtenir beaucoup mieux à l'aide de verres à pied plus ou moins remplis d'eau. On les frappe avec une baguette ; ils rendent un son, que l'on modifie en versant dans le verre une quantité d'eau plus ou moins considérable. Si l'opérateur est doué d'une oreille musicale, il peut obtenir par tâtonnement une véritable gamme au moyen de sept verres qui donnent chacun leur note (fig. 70). Un morceau de musique peut être joué par ce procédé. Les verres chanteurs produisent un son argentin souvent très pur.

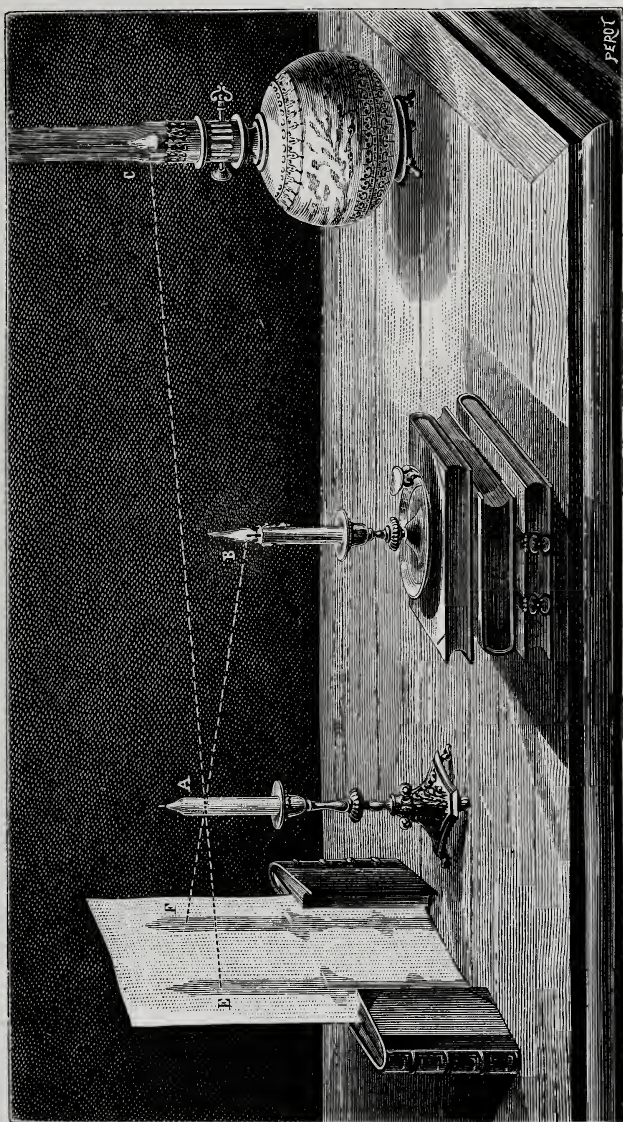


Fig. 71. — Un appareil photométrique élémentaire. (Page 99.)

LA LUMIÈRE ET L'OPTIQUE.

Après avoir mentionné quelques expériences d'acoustique, nous aborderons l'étude élémentaire de l'optique.

On est souvent embarrassé pour se rendre un compte à peu près exact de la valeur de deux éclairages. Rien pourtant n'est plus facile, comme on va le voir.

Dans la comparaison de divers éclairages, il y a lieu de tenir compte de la dépense à l'heure, de la couleur de la lumière, de la valeur lumineuse de la source, et beaucoup de la fixité absolue de la flamme.

La valeur lumineuse d'un bec se compte habituellement en bougies, et on prend pour type celles de 10 au kilogr. Des photomètres de précision servent à faire cette étude quand on la veut d'une grande rigueur ; mais il est facile de se créer un matériel bien suffisant pour se rendre compte des divers éclairages usuels.

Supposons qu'il faille apprécier, soit deux lampes de différente intensité, soit la valeur en bougies d'une source lumineuse, c'est-à-dire comparer une lampe et une bougie. On disposera sur une table les deux foyers lumineux à égale hauteur, B et C (fig. 71), puis en avant, on placera un corps opaque A, et enfin une grande feuille de papier sera mise auprès du corps opaque le plus verticalement possible, et formera ainsi un écran.

Allumant alors B et C on produira deux ombres E et F auxquelles on arrivera facilement à donner exactement la même intensité en avançant ou reculant l'une des deux sources de lumières.

Ceci obtenu, les intensités lumineuses seront inversement proportionnelles aux carrés des distances mesurées AB t AC.

Si le photomètre est facile à construire, les principes de l'optique peuvent aussi être démontrés très pratiquement et à peu de frais.

Pour mettre en évidence les effets de la réfraction, il suffit de plonger un bâton dans l'eau, on le voit prendre l'apparence d'un

bâton cassé. On peut encore placer une pièce de monnaie au fond d'une cuvette et se baisser peu à peu jusqu'au moment où le bord formant écran, on cesse de voir la pièce au fond du vase. Si à ce moment un opérateur remplit la cuvette d'eau, la pièce de monnaie apparaît comme si le fond s'était élevé.

Les lentilles de verre employées par les physiciens sont très bien remplacées par une simple carafe ronde remplie d'eau. Une

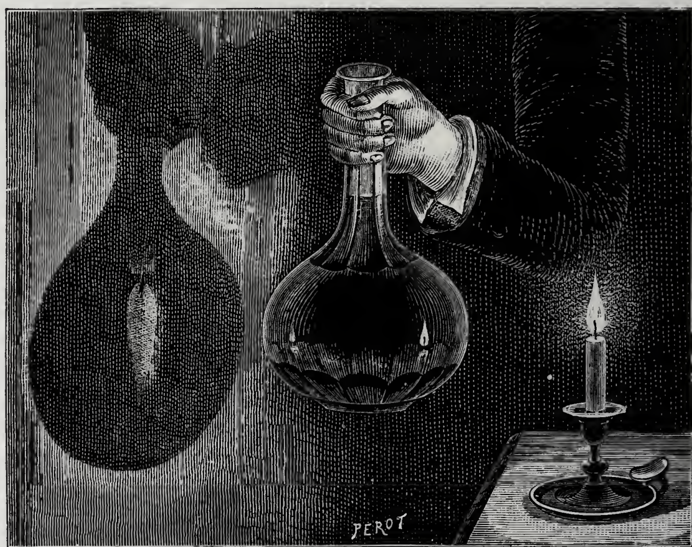


Fig. 72. — Une carafe employée comme lentille convergente. (Page 100.)

bougie est allumée dans l'obscurité; si l'on place la carafe entre cette bougie et un mur formant écran, on voit l'image renversée de celle-ci se former au moyen de cette lentille convergente improvisée (fig. 72).

Un ballon de verre constitue un excellent microscope. Il suffit de le remplir d'une eau bien claire et très limpide, et de le fermer au moyen d'un bouchon. Un fil de fer enroulé autour de son col, et relevé de manière à ce que l'une de ses extrémités vienne aboutir vers son foyer, sert de support à l'objet que l'on veut

considérer sous un grossissement de quelques diamètres. Si une mouche, par exemple, est fixée à l'extrémité de cette tige, on la voit très amplifiée, en la regardant à travers la boule de verre (fig. 73). Il suffit de considérer l'insecte à travers le ballon rempli d'eau, et l'on distingue les détails de son organisme grâce à

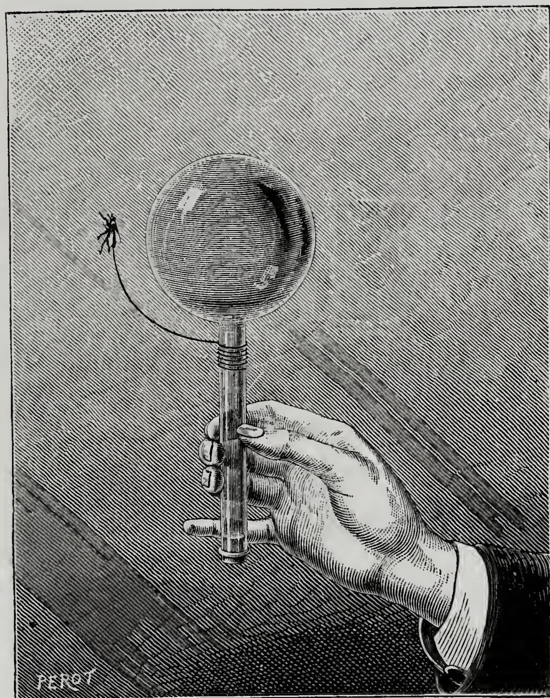


Fig. 73. — Microscope simple formé par un ballon de verre rempli d'eau. (Page 101.)

cette loupe bien facile à construire. Ce petit appareil peut encore servir à augmenter l'intensité d'un foyer lumineux de faible puissance, tel qu'une bougie allumée. Il est souvent employé à cet effet par les ouvriers horlogers.

Si l'on expose une carafe pleine d'eau sur une table, aux rayons du soleil et que l'on place la tête d'une allumette chimique dans la portion la plus brillante de la *caustique* formée par les rayons

réfractés, l'allumette ne tardera pas à s'enflammer. L'expérience m'a réussi même par le soleil d'octobre, à plus forte raison dans les temps chauds.

Je parcourais un jour les galeries du Conservatoire des arts et métiers à Paris, alors qu'elles sont ouvertes au public et que la

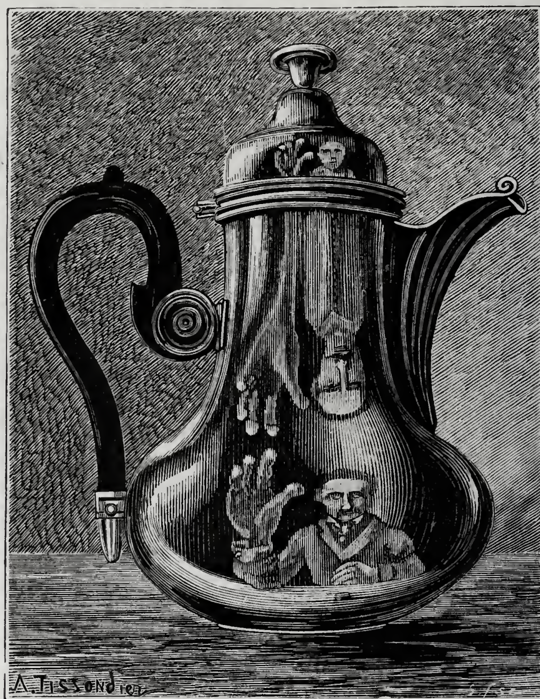


Fig. 74. — Déformation des images dans une cafetière d'argent. Miroirs concaves et convexes. (Page 103.)

foule y afflue ; le nombre des visiteurs qui se pressaient dans le cabinet d'optique devant les curieux miroirs concaves et convexes, où les objets se déforment et prennent un aspect si singulier, était si considérable, que les gardiens devaient faire défiler méthodiquement les curieux. C'étaient des rires de joie de la part des enfants, des cris à n'en plus finir, quand ils apercevaient l'image de leur visage, allongée de haut en bas dans un des mi-

roirs, ou aplatie latéralement dans un autre. Voilà, me disais-je, des observations d'optique bien simples, qui obtiennent un bien grand succès; peu de personnes songent à les faire, et tout le monde a cependant le moyen de les exécuter. Il suffit de se regarder dans le creux d'une cuiller bien polie qui forme un

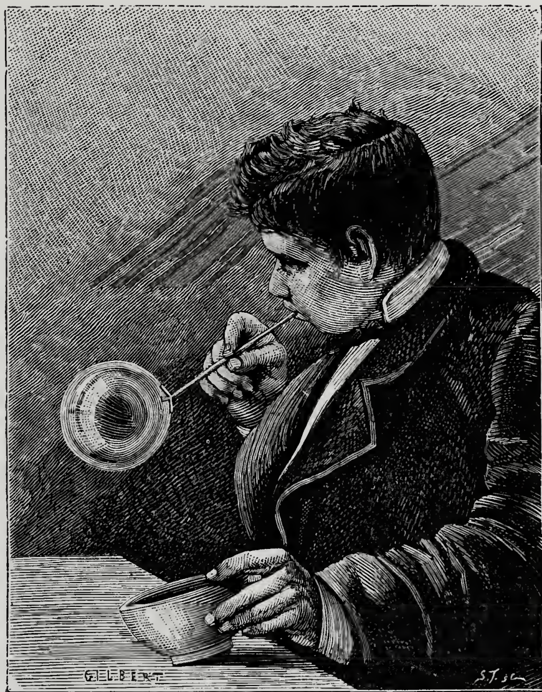


Fig. 75. — Bulle de savon formée à l'extrémité d'un fétu de paille. Phénomène des anneaux colorés. (Page 104.)

miroir concave, ou à la surface d'une cafetière d'argent. La partie bombée de celle-ci constitue un excellent miroir convexe, et quand on en approche la main, on voit l'image s'agrandir, et se déformer comme dans les beaux appareils du Conservatoire des arts et métiers (fig. 74).

Les phénomènes les plus remarquables, les plus brillants, ne sont pas toujours ceux qui exigent les appareils les plus compli-

qués. Quoi de plus joli qu'une bulle de savon (fig. 75), formée bien facilement à l'extrémité d'un fétu de paille ?

« A l'origine, dit notre savant ami, M. A. Guillemin, auquel nous empruntons les excellentes choses qu'il a écrites à ce sujet, quand la sphère liquide n'a encore qu'un faible diamètre, la

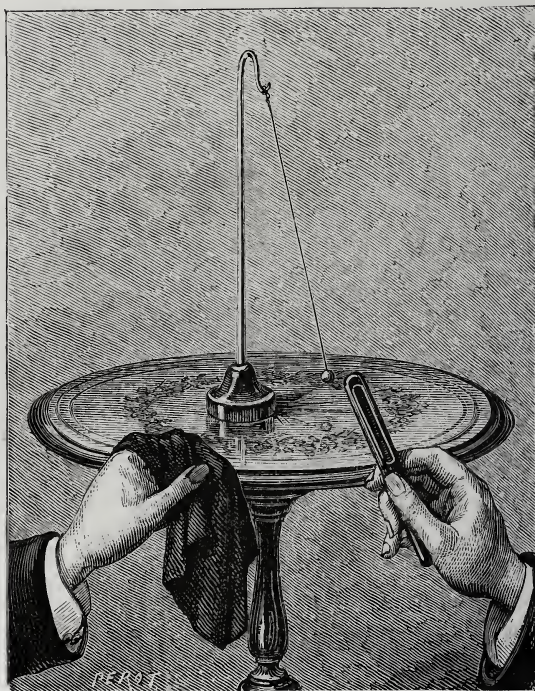


Fig. 76. — Bâton de cire à cacheter électrisé attirant une balle de liège. (Page 106.)

pellicule qui en limite les contours est incolore et tran sparente. Peu à peu l'air qu'on insuffle à l'intérieur, pressant également de toutes parts la surface concave, agrandit le diamètre aux dépens de l'épaisseur ; c'est alors qu'on voit apparaître, faibles d'abord, puis plus vives, une série de couleurs naissant les unes à la suite des autres, et formant par leur mélange une multitude de teintes irisées, jusqu'au moment où la bulle, diminuant d'épaisseur,

n'offre plus une résistance suffisante à l'action du gaz qu'elle renferme. Des taches noires se montrent alors au sommet, et bientôt la bulle crève. Cette expérience si simple, cette récréation enfantine, qui offre tant d'attraits aux yeux de l'artiste amoureux des couleurs, n'est pas moins belle et moins intéressante aux yeux



Fig. 77. — Attraction d'une pipe par un verre électrisé. (Page 106.)

du savant. Newton en a fait l'objet de ses études et de ses méditations, et depuis ce grand homme, les couleurs de la bulle de savon tiennent une place légitime parmi les plus curieux phénomènes de l'optique ; on les étudie en physique sous la dénomination d'*anneaux colorés dans les lames minces.* »

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

Il n'est pas jusqu'aux principes de l'électricité dont on ne puisse aborder l'étude avec des objets usuels.

Il suffit de frotter avec un morceau de drap un bâton de cire à cacheter, on le verra attirer aussitôt des petits morceaux de papier très légers dont il sera approché.

Rien n'est plus facile que de confectionner un petit pendule pour montrer plus avantageusement ce phénomène de l'attraction électrique. Une tige de fer fixée sur un pied de bois forme une potence et soutient un fil de soie, à l'extrémité duquel on a attaché une petite balle de liège découpée dans un bouchon. Le bâton de cire à cacheter, électrisé par le frottement, attirera aussitôt cette petite balle, comme l'indique notre gravure (fig. 76).

Vous prenez une pipe, une vulgaire pipe en terre d'un sou, vous la posez délicatement en équilibre sur le bord d'un verre, de telle manière qu'elle puisse osciller librement par le moindre contact, comme le fléau d'une balance.

Cela fait, vous dites aux assistants : « Voici une pipe posée sur le bord d'un verre ; il s'agit de faire tomber cette pipe, sans y toucher, sans souffler, sans toucher le verre, sans agiter l'air avec un écran et sans remuer la table qui sert de support. »

L'électricité vous permettra de résoudre le problème ainsi posé. Vous prenez un verre à pied semblable à celui qui sert de support à la pipe, vous le frottez énergiquement sur la manche de votre habit, le bras tendu. Le verre s'électrise par le frottement contre le drap ; quand il a été bien frotté, vous l'approchez à 1 centimètre environ du tuyau de la pipe en équilibre, et vous voyez que celle-ci est énergiquement attirée ; elle suit le verre à votre gré, et tombe de son support.

Cette expérience vraiment curieuse est une jolie variante du pendule électrique.

Nous représentons (fig. 77) l'expérience faite avec deux verres

à pied, mais de simples gobelets comme on en a dans les campagnes réussissent tout aussi bien. La pipe en terre n'est pas un objet rare, il est donc difficile de produire, à moins de frais, des manifestations d'électricité.

Une feuille de papier nous suffira pour produire l'étincelle. Je prends une feuille de papier à dessin assez solide et de grand format ; je la chauffe très fortement et je l'applique sur une table de bois. Je la frotte avec la main bien sèche, ou avec une étoffe de laine jusqu'à ce qu'elle adhère à la table. Cela fait, je pose un trousseau de clefs au milieu de la feuille de papier, je la soulève en la saisissant par deux angles. Si à ce moment quelqu'un vient à approcher son doigt du trousseau de clefs, il en tire une étincelle brillante. Le métal s'est emparé de l'électricité développée sur le papier. Si le temps est bien sec, et si le papier a été bien chauffé à plusieurs reprises, l'étincelle peut atteindre une longueur très appréciable.

Nous allons compléter notre matériel d'appareils électriques. Il va être question de faire un électrophore, une bouteille de Leyde, et d'obtenir des étincelles électriques dépassant 1 centimètre de longueur, produisant sur la main la sensation du picotement particulier qui les caractérise ; tout cela avec des objets usuels.

On prend un plateau à thé en fer-blanc laqué, de 30 à 40 centimètres de longueur ; on découpe une feuille de papier d'emballage, épais et solide, de telle façon qu'elle s'applique facilement sur la partie plane du plateau. On fixe, à l'aide de cire à cacheter, deux bandelettes de papier à chaque extrémité de la feuille, de manière à pouvoir la soulever sans difficulté quand elle est posée à plat. Le plateau à thé est placé sur deux verres à boire qui lui servent de support. Voilà l'électrophore confectionné.

Voyons maintenant comment on arrive à le faire fonctionner.

On chauffe la feuille de papier d'emballage au-dessus d'un feu très ardent, d'un poêle ou d'un fourneau bien allumé ; il faut chauffer longtemps, à plusieurs reprises, de telle façon que le papier soit bien sec, et que sa température soit aussi élevée que

possible. Cela fait, on le pose rapidement, afin d'éviter son refroidissement, sur une table de bois, et on le frotte très énergiquement à l'aide d'une brosse à habit assez dure et bien sèche. On met le papier sur le plateau ; on touche le plateau avec le doigt et on soulève le papier par ses poignées. Si à ce moment une

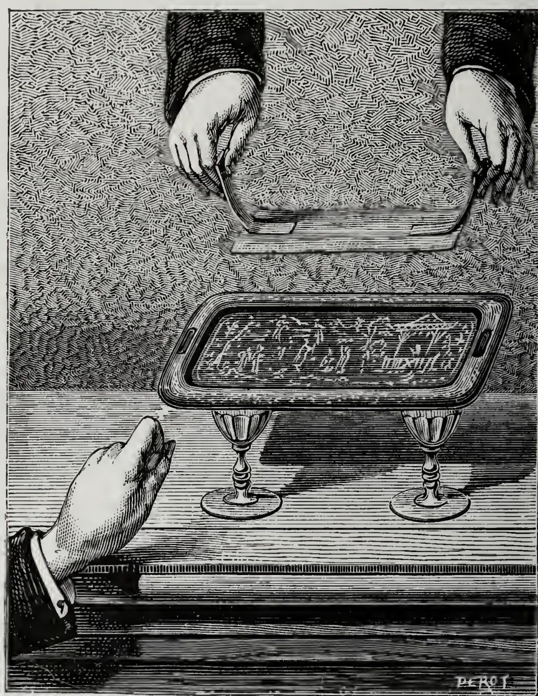


Fig. 78. — Un électrophore confectionné au moyen d'un plateau à thé et d'une feuille de papier. (Page 107.)

personne approche le doigt du bord du plateau, elle fera jaillir une étincelle visible (fig. 78). On peut remettre alors le papier sur le plateau, en toucher le bord une seconde fois, et soulever à nouveau le papier ; une seconde étincelle jaillira, et ainsi de suite, à sept ou huit reprises différentes.

Nous voilà pourvus d'une véritable machine électrique. Com-

ment arriverons-nous à fabriquer une bouteille de Leyde ? Nous prendrons un gobelet de verre que nous remplirons de plomb de chasse : nous planterons au milieu de ce plomb de chasse une cuiller à café, et si tous ces objets sont bien secs, nous aurons une excellente bouteille de Leyde.

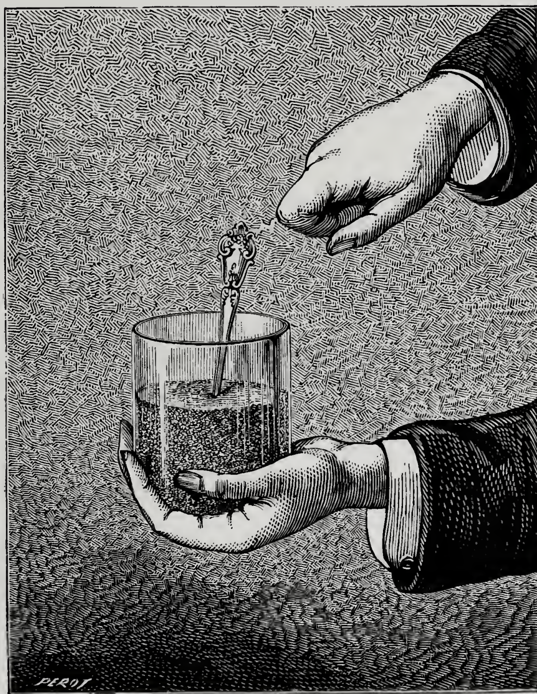


Fig. 79. — Une bouteille de Leyde faite avec un verre, du plomb de chasse et une cuiller. (Page 09.)

Pour la charger, nous ferons fonctionner notre électrophore comme nous l'avons indiqué précédemment. Pendant qu'un opérateur touchera le bord du plateau et soulèvera la feuille de papier, une autre personne tenant le gobelet de verre par le fond l'approchera du plateau, de telle façon que la petite étincelle jaillisse à l'extrémité du manche de la cuillère. On chargera ainsi la bouteille de Leyde au moyen de plusieurs étincelles suc-

cessives : on pourra alors en obtenir une petite décharge, soit en l'approchant du plateau, soit en la présentant devant la main (fig. 79).

M. Louis Figuier, dans ses *Merveilles de la Science*, raconte que Wollaston, ayant rencontré un soir dans une rue de Londres un de ses amis, tira de sa poche un dé à coudre en cuivre, et s'en servit pour construire une pile microscopique. Pour cela, il enleva le fond du dé, l'aplatit avec une pierre de manière à rapprocher les deux surfaces internes à deux lignes environ l'une de l'autre, ensuite il plaça entre les deux surfaces de cuivre une petite lame de zinc qui n'était en contact ni avec l'une ni avec l'autre des parois de cuivre, grâce à l'interposition d'un peu de cire à cacheter. Il plaça ce petit couple ainsi préparé dans un godet de verre, préalablement rempli avec le contenu d'une petite fiole pleine d'eau acidulée avec de l'acide sulfurique. Réunissant extérieurement la lame de zinc et son enveloppe de cuivre au moyen d'un fil de platine, il fit rougir aussitôt ce fil par l'électricité développée dans cette petite pile. Les dimensions de ce fil de platine étaient excessivement petites ; il avait seulement un trente-millième de pouce de diamètre et un trentième de pouce de longueur.

En raison de ses dimensions exiguës, ce fil de platine pouvait être non seulement rougi, mais fondu par cette petite batterie. Aussi l'ami de Wollaston, témoin de cette expérience, put-il allumer sur-le-champ de l'amadou à ce fil rougi.

Il n'est pas impossible, après l'électricité, d'aborder l'étude du magnétisme et de construire même une boussole. Nous en trouvons le moyen, en empruntant un passage curieux du *Magasin pittoresque*. Prenons un petit bouchon et passons au travers une aiguille à tricoter ordinaire (fig. 80) que nous aurons aimantée, en la plaçant N. S. et en la frottant doucement et toujours dans le même sens au moyen d'un de ces petis aimants en fer à cheval, de 65 centimes, dont s'amusent les enfants. Une fois l'aiguille E traversant le bouchon, vous implantez dans ce bouchon une aiguille à coudre, ou mieux une épingle dont la pointe posera

dans l'un des trous couvrant la partie supérieure d'un dé à coudre. Pour faire tenir l'aiguille aimantée en équilibre, vous enfoncerez une allumette C dans le bouchon, de chaque côté, comme le montre la figure, et vous ferez adhérer à l'extrémité de chacune des allumettes une boulette de cire. Vous équilibrerez tout ensemble l'aiguille, les balles, l'épingle, de manière que tout tienne bien, ainsi que le dessin l'indique. Comme il est très important qu'avec un instrument aussi sensible l'agitation de l'air soit évitée, vous placerez votre dé au fond d'une terrine vulgaire de terre cuite BDT et vous le fermerez avec une vitre V.

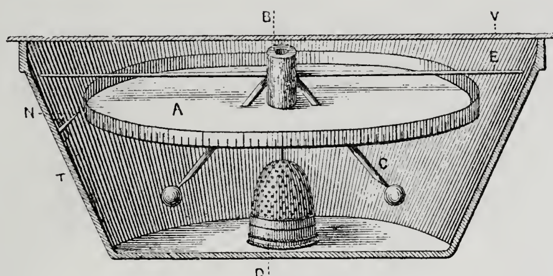


Fig. 80. — Une boussole économique. (Page 110.)

Pour graduer la boussole, à l'aide d'un compas, on décrit un cercle sur un papier un peu résistant. Sur ce cadran, on trace des divisions suffisamment rapprochées, seulement aux extrémités nord de l'aiguille, puis on fixe le papier au-dessous, comme l'indique la figure 80. Ensuite, on colle avec une boulette de cire un bout d'allumette appointie N, vis-à-vis l'extrémité nord de l'aiguille dans l'intérieur de la cuvette. On a de la sorte une excellente boussole à bien peu de frais.

On peut encore aimanter une fine aiguille à coudre, et la graisser en la frottant avec un peu de suif. Dans ces conditions, elle devient capable de flotter à la surface de l'eau contenue dans un verre et s'oriente d'elle-même.

La propriété qu'a le fer d'attirer l'aimant est souvent utilisée dans la confection des jouets. Tout le monde connaît les canards

et les poissons de fer-blanc terminés par une petite tige de fer doux, et que l'on attire à l'aide d'un aimant.

La figure 81 représente un objet d'invention nouvelle; c'est un cirque sur la piste duquel on place de petits personnages, tels qu'une écuyère debout sur un cheval, un clown, etc.



Fig. 81. — Cirque magique basé sur le magnétisme. (Page 112.)

Quand on tourne une manivelle, la petite pièce se met tout à coup en mouvement et tourne autour de la piste. Le résultat est obtenu par la rotation d'un aimant dissimulé dans l'intérieur de la boîte et qui entraîne le petit personnage monté sur une lamelle de fer. C'est par ce charmant petit objet que nous terminerons ici notre cours de *Physique sans appareils.*

CHAPITRE III

LA VISION ET LES ILLUSIONS D'OPTIQUE

L'œil est un instrument d'optique d'une grande délicatesse, et les phénomènes de la vision sont de ceux qui peuvent être considérés comme les plus compliqués. Nous insisterons spécialement ici sur des illusions curieuses qui peuvent être considérées comme le complément du chapitre que l'on vient de



Fig. 82. — Le carré blanc paraît plus grand que le noir. (Page 114.)



Fig. 83. — Les angles de carrés blancs paraissent se joindre. (Page 114.)

lire. L'observation de ces illusions ne nécessite dans bien des cas aucun appareil. Citons-en de suite quelques exemples.

Nous ne jugeons jamais exactement les dimensions des fentes ou des trous étroits qui laissent échapper une vive lumière : ils nous paraissent toujours plus larges qu'ils ne sont réellement.

Dans un gril de barreaux fins, et dont les vides sont exactement égaux aux pleins, les vides paraissent toujours plus larges que les barreaux, si on tient le gril devant un fond éclairé.

La figure 82 nous offre un carré blanc sur un fond noir et un carré noir sur un fond blanc. Bien que les deux carrés aient exactement les mêmes dimensions, le blanc paraît plus grand que le noir.

Si l'on tient un fil métallique mince entre l'œil et le disque solaire ou la lumière d'une forte lampe, on cesse de le voir : les deux surfaces éclairées situées de part et d'autre du fil dans le champ visuel débordent l'une et l'autre et se confondent. Pour des dessins formés de carrés blancs et noirs, comme ceux d'un damier (fig. 83), les angles des carrés blancs se joignent par irradiation et séparent les carrés noirs.

Si l'on tient l'arête d'une règle entre l'œil et la lumière d'une lampe bien éclairée ou celle du soleil, on voit sur le bord de cette règle, à la partie correspondante à la lumière, une échancrure très nette et très appréciable.

Quand un point de la rétine est impressionné par une lumière qui subit des variations périodiques et régulières, et que la durée de la période est suffisamment courte, il en résulte une impression continue, pareille à celle qui se produirait si la lumière émise pendant chaque période était distribuée d'une manière égale dans toute la durée de la période.

Pour vérifier l'exactitude de cette loi, on peut disposer des disques tels que celui représenté dans la figure 84 et que l'on met en rotation au moyen d'une toupie que nous allons décrire un peu plus loin. Le cercle interne est mi-partie blanc et noir, le cercle moyen est blanc sur les deux quarts, c'est-à-dire encore sur la moitié de sa périphérie ; enfin le cercle extérieur présente quatre huitièmes blancs, le reste étant noir. Si l'on fait tourner un semblable disque, il paraît uniformément gris sur toute sa surface. Seulement il faut faire en sorte que le disque tourne assez vite pour produire un effet complètement continu, même sur le cercle interne. On peut aussi distribuer le blanc sur

d'autres arcs de longueur arbitraire ; pourvu que, sur tous les cercles du disque, la somme des angles occupés par le blanc soit la même, ils donnent toujours tous le même gris. Au lieu de noir et de blanc, on peut aussi prendre différentes couleurs et l'on obtient la même couleur résultante sur tous les cercles, quand la somme des angles occupés par chacune des couleurs dans les différents cercles est la même.

Si, sur un disque, on peint une étoile colorée qui se détache sur un fond d'une autre couleur (fig. 85), pendant la rotation rapide de ce disque, le centre affecte la couleur de l'étoile, le pourtour prend celle du fond et les parties intermédiaires du disque présentent la série continue des couleurs résultantes des couleurs



Fig. 84. — Disque paraissant uniformément gris par sa rotation. (Page 114.)

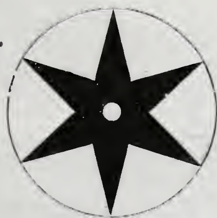


Fig. 85. — Disque avec une étoile peinte sur un fond d'une autre couleur. (Page 115.)

employées. Ces résultats sont d'accord avec la théorie du mélange des couleurs.

Les disques rotatifs dont on fait un grand usage dans les expériences d'optique physiologique ont été employés la première fois par Müsschenbroeck. Pour les mettre en mouvement, le plus simple moyen est réalisé par la toupie.

La disposition la plus pratique, représentée par la figure 86, consiste dans l'emploi d'un manche analogue à celui de la toupie d'Allemagne.

Une autre excellente construction, qui ne doit être employée que pour des rotations très rapides, est celle de la toupie chromatique de Busold (fig. 87). Le disque, d'un poids de cinq livres, est formé d'un alliage de zinc et de plomb ; il a 1 décimètre de dia-

mètre. L'axe de laiton se termine en bas par une pointe mousse d'acier non trempé ; la partie cylindrique de l'axe est rugueuse, pour favoriser l'adhérence du fil. Lorsqu'on veut mettre la toupie en mouvement après avoir enroulé la ficelle, on engage l'axe dans les entailles d'un étrier de fer, on place une assiette au-dessous et l'on tire fortement le fil avec la main droite, tandis que la gauche s'appuie sur le levier. Lorsque la toupie est en marche, on dégage l'assiette avec elle d'entre les bras du levier. Ce levier, mobile autour d'un axe, peut se soulever par ce

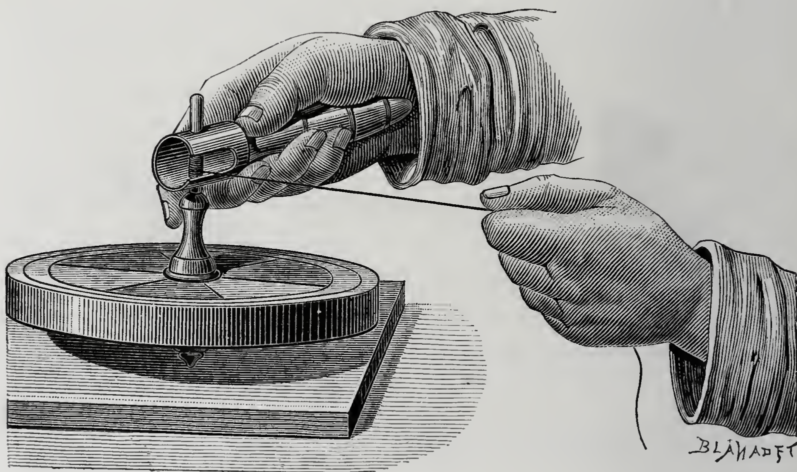


Fig. 86. — Manière de mettre en rotation la toupie portant des disques colorés. (Page 115.)

moyen ; en tirant fortement sur la ficelle, il est possible d'obtenir une vitesse de soixante tours à la seconde, et le mouvement se conserve pendant très longtemps.

Les disques straboscopiques qui permettent d'étudier des phénomènes analogues sont des disques de carton de 25 à 30 centimètres de diamètre (fig. 88) sur lesquels sont disposées un certain nombre (8 à 12) de figures en cercles, à égale distance les unes des autres, et présentant les phases successives d'un mouvement périodique quelconque. On place le disque sur un autre

cercle opaque, d'un diamètre un peu plus considérable, et qui présente sur son bord autant d'ouvertures que le premier disque porte de figures. On applique les deux surfaces l'une sur l'autre, et on les fixe par leurs centres au moyen d'un écrou à l'extrémité antérieure d'un petit axe en fer, dont l'autre l'extrémité est portée par un manche. Pour se servir de l'appareil, on se met en face d'une glace vers laquelle on tourne le disque avec les figures, et l'on place l'œil de manière à voir l'image des figures à travers un des trous du grand disque.

Dès qu'on fait tourner l'appareil, les figures qu'on voit dans la

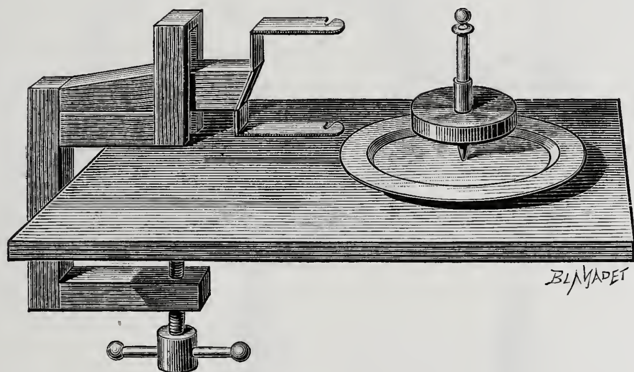


Fig. 87. — Toupie chromatique de Busold. (Page 115.)

glace, semblent exécuter sur place les mouvements dont elles représentent les différentes positions. Désignons par les chiffres 1, 2, 3... les ouvertures à travers lesquelles l'œil regarde successivement, et indiquons par les mêmes chiffres les figures qui se trouvent sur les rayons ainsi numérotés. L'observateur, en regardant dans la glace par l'ouverture 1, voit d'abord la figure 1 sur le rayon qui, dans la glace, paraît passer par son œil ; aussitôt la rotation du disque déplace l'ouverture 1, le carton ne lui laisse rien voir jusqu'au moment où l'ouverture 2 se présente devant son œil ; alors la figure 2 se trouve à la place où était la figure 1, puis tout disparaît de nouveau, jusqu'à ce que l'ouverture 3 vienne

se présenter et que cette figure 3 apparaisse à l'endroit où se trouvaient précédemment les figures 1 et 2. Si ces figures étaient pareilles entre elles, l'observateur aurait une série d'impressions visuelles séparées, mais pareilles, qui, pour une rotation suffisamment rapide, se confondraient en une impression durable, telle que la donnerait un objet immobile. Si, au contraire, les figures diffèrent un peu entre elles, les sensations lumineuses se confon-

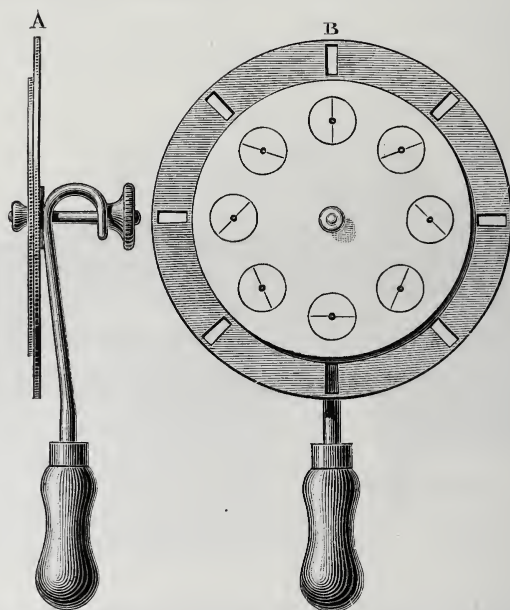


Fig. 88. — Disque straboscopique. (Page 116.)

dront aussi en un seul objet, mais qui paraîtra se modifier d'une manière continue conformément aux différences des images successives.

Nous reviendrons un peu plus loin sur ce genre de phénomènes intéressants ; nous continuerons actuellement nos observations en parlant d'illusions que l'on appelle celles de l'*estimation oculaire*.

Une dimension divisée paraît plus considérable que lors-

qu'elle n'est pas divisée ; en effet, la perception directe des parties nous fait reconnaître le nombre et la grandeur des subdivisions dont la quantité est susceptible, mieux que lorsque ces parties ne sont pas nettement délimitées. C'est ainsi que dans la figure 89 on juge la longueur *ab* comme égale à *bc*, bien qu'*ab* soit en réalité plus grand que *bc*. Dans l'expérience qui consiste

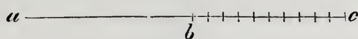


Fig. 89. — *ab* paraît égal à *bc*. (Page 119.)

à diviser une ligne en deux parties égales, l'œil droit tend à agrandir la moitié de droite, et l'œil gauche tend à faire trop grande la moitié gauche. Pour arriver à une estimation exacte, on retourne la feuille et on prend la moyenne de deux déterminations.

Les illusions de cette espèce deviennent plus frappantes lorsque les distances à comparer possèdent des directions différentes. Si on regarde A et B (fig. 90), qui sont des carrés parfaits, A



Fig. 90. — A et B sont des carrés parfaits. (Page 119.)

paraît plus haut que large, tandis que B paraît, au contraire, plus large.

Il en est de même pour les angles : qu'on regarde la figure 91, les angles 1, 2, 3, 4 sont droits et devraient paraître tels lorsqu'on les examine avec les deux yeux. Mais 1 et 2 semblent aigus, 3 et 4 obtus. L'illusion s'accentue encore lorsqu'on regarde la figure avec l'œil droit.

Si on fait tourner la figure de sorte que 2 et 3 soient dirigés en bas, 1 et 2 paraissent, au contraire et d'une façon exagérée,

aigus pour l'œil gauche ; ils sont dans leur dimension véritable pour l'œil droit. Les angles divisés sont toujours estimés relativement plus grands qu'il ne paraîtraient sans division.

La même illusion se présente dans un grand nombre d'exemples connus de la vie journalière.

Une chambre vide paraît plus petite qu'une chambre meublée; un mur recouvert d'une tenture paraît plus grand qu'un mur nu. Une jupe rayée en travers fait paraître une femme relativement plus grande que si la jupe est rayée en long.

Un amusement de société bien connu consiste à présenter un chapeau à quelqu'un, en lui disant d'en marquer la hauteur sur

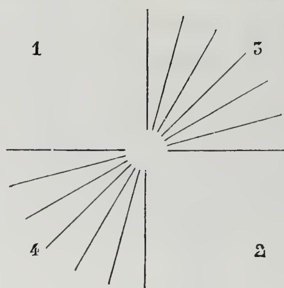


Fig. 91. — Les angles 1, 2 ; 3 et 4 sont égaux. (Page 119.)

le mur, à partir du sol. En général on indique une hauteur une fois et demie trop grande.

Citons un fait observé par Bravais : « Lorsqu'on est en mer, dit-il, à certaine distance d'une côte qui présente de grandes inégalités de terrain, et qu'on dessine cette côte telle qu'elle se présente à l'œil, après vérification faite, on trouve que les dimensions horizontales ayant été figurées correctement à une certaine échelle, les distances angulaires verticales ont été uniformément représentées à une échelle deux fois plus grande. Cette illusion n'est pas individuelle, comme on pourrait le croire ; sa généralité est démontrée par de nombreuses observations. »

Dans le même ordre de faits, Helmholtz indique différen-

tes illusions d'optique qu'on a fait connaître dans ces derniers temps.

Qu'on examine la figure 92, le prolongement de la ligne *a* ne paraît pas être *d*, conformément à la réalité, mais *f*, qui est un peu plus bas. — Cette illusion est encore plus frappante lors-

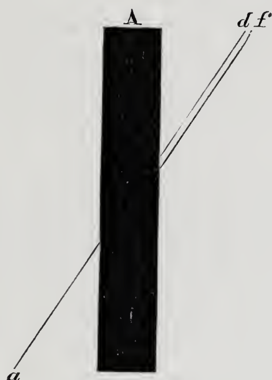


Fig. 92. — *d* est le prolongement de la ligne *a*. (Page 121.)

qu'on fait la figure à une échelle plus petite (fig. 93), comme en B, où les deux portions minces sont sur le prolongement l'une de l'autre, mais ne paraissent pas y être, et en C où elles le paraissent, mais ne le sont pas en réalité. Si l'on dessine des figu-

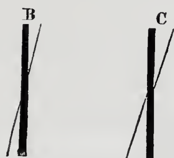


Fig. 93. — Les lignes minces sont sur le prolongement l'une de l'autre en *B*. (Page 121.)

res comme A (fig. 92), en laissant de côté la portion *d*, et qu'on les regarde à une distance de plus en plus grande, de manière qu'elles présentent une grandeur apparente de plus en plus faible, on touve que plus la figure est éloignée, plus il faut baisser la portion *f* pour qu'elle semble le prolongement de *a*.

Dans la figure 94, A et B présentent des exemples indiqués par Hering ; les lignes droites *ab* et *cd* sont parallèles, cependant elles paraissent déviées en dehors en A et en dedans en B.

L'exemple le plus frappant de ce genre d'illusion est représenté par la figure 95 ; il a été publié par Zollner.

Les bandes noires verticales de la figure sont parallèles entre elles ; elles paraissent convergentes et divergentes, de manière à sembler toujours s'écarter de la direction verticale, suivant une direction inverse de celle des obliques qui les coupent. En même temps, les moitiés des traits obliques sont

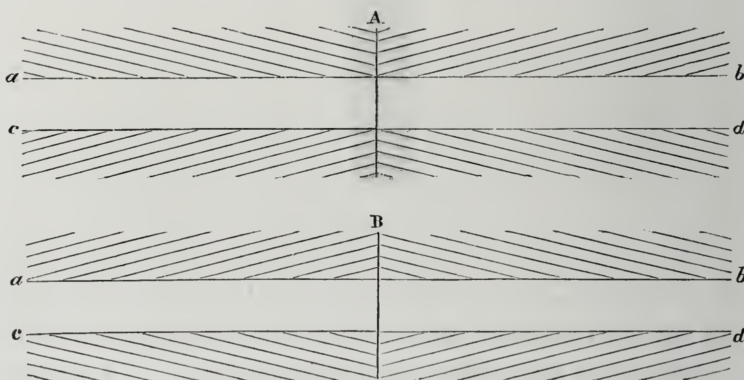


Fig. 94. — Les lignes horizontales *ab*, *cd*, sont rigoureusement parallèles ; elles paraissent se dévier sous l'influence des lignes obliques. (Page 122.)

déplacées respectivement. Si l'on tourne la figure de manière que les fortes lignes verticales présentent une inclinaison de 45° par rapport à l'horizon, la convergence apparente devient plus frappante, tandis qu'on remarque moins la déviation apparente des moitiés des petits traits, qui sont alors horizontaux et verticaux. En résumé, la direction des lignes verticales et horizontales est moins modifiée que celles des lignes qui traversent obliquement le champ visuel.

Les Romains connaissaient très bien l'influence des lignes obliques. On retrouve à Pompéi, dans les peintures murales, des lignes qui ne sont pas parallèles, afin de satisfaire l'œil in-

fluencé par des lignes voisines. Les graveurs en taille-douce ont également étudié l'influence des hachures sur le parallélisme des lignes droites, et ils savent tirer parti des effets qu'elles doivent produire sur la gravure.

Dans quelques ornementations, où l'on n'a pas tenu compte de ces faits, il arrive parfois que des lignes parallèles ne paraissent plus l'être par l'influence d'autres lignes obliques, et produisent alors un effet désagréable. On pourra remarquer un effet semblable à la gare de Lyon à Paris, dans le comble de la halle

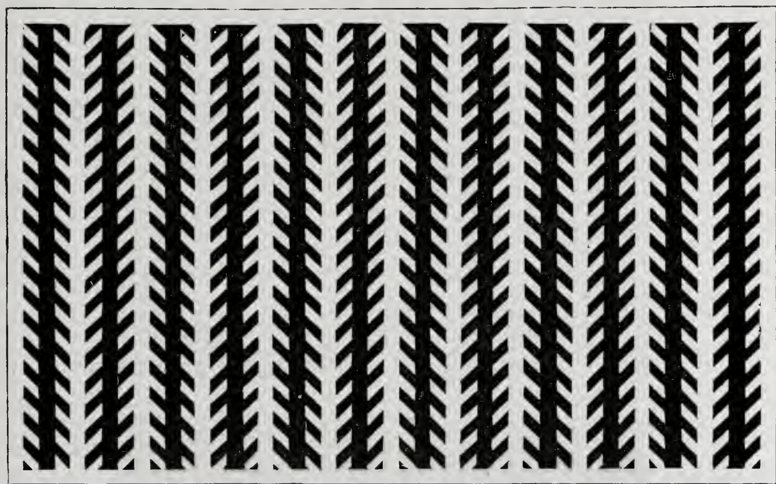


Fig. 95. — Les bandes verticales sont parallèles ; elles paraissent convergentes ou divergentes sous l'influence des lignes obliques. (Page 122.)

couvert d'un parquet en point de Hongrie : les grandes lignes parallèles de ce plafond semblent se dévier sous l'action produite par une série de lignes obliques formées par des planches.

Les bagues que nous reproduisons ci-contre (fig. 96) d'après une photographie au double de grandeur donnent naissance à une illusion curieuse qui rentre dans la même classe de phénomènes. Ces bagues sont formées de tresses métalliques dont chaque tors est alternativement jaune d'or et blanc d'argent. Elles ont partout le même diamètre, les tresses métal-

liques qui les forment ont la même épaisseur et sont parallèles entre elles. Or, quand on regarde sur le côté une de ces bagues, les tresses métalliques paraissent se rapprocher vers le bas, et la bague semble beaucoup plus mince dans le bas que dans le haut; quand on fait tourner la bague autour de son doigt, l'apparence du rétrécissement se produit toujours au même point. La bague figurée à gauche de notre gravure rend à peu près compte de l'illusion, mais avec l'objet réel, cette illusion est bien plus frap-

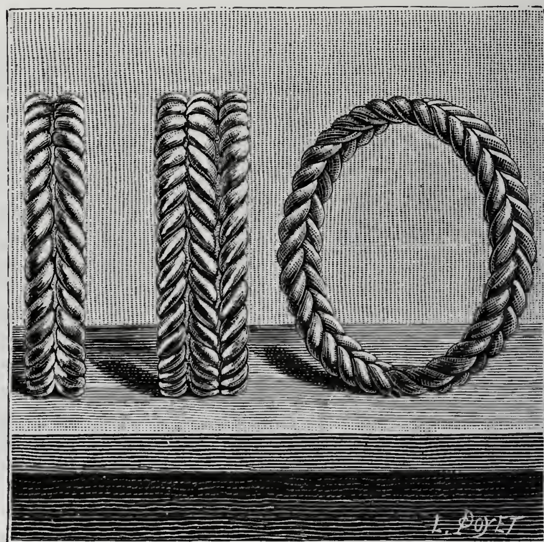


Fig. 96. — Bagues magiques (d'après une photographie au double de grandeur). (Page 123.)

pante. Dans la bague à trois tresses représentée au milieu de la gravure la tresse du milieu paraît inclinée très sensiblement, mais la gravure a fait disparaître l'illusion qui existe sur l'objet réel. La bague dessinée à droite de la figure a pour but de montrer la disposition des tresses.

Le phénomène est en grande partie dû à la réflexion de la lumière sur les maillons arrondis des tresses métalliques. Le point brillant de la lumière réfléchie se produit sur les bords

extérieurs de la bague dans sa partie supérieure, et vers son milieu à sa partie inférieure. La bague figurée à gauche de la gravure donne assez exactement idée de ce fait.

Il est probable que d'autres objets pourraient faciliter l'étude de ce genre d'illusion. Des nattes de soie de diverses couleurs, roulées autour d'un cerceau, etc., reproduiraient peut-être le phénomène ; il y aurait là quelques curieuses expériences à essayer.

Nous passerons à présent en revue une autre série d'expériences ou d'appareils, basés sur les illusions de la vision et la persistance des impressions sur la rétine. Le thaumatrope est assurément l'un des plus anciens jouets basés sur ce dernier principe. Il consiste en un disque de carton que l'on met en rotation avec les doigts, autour d'un axe formé par deux cordelettes. Sur une

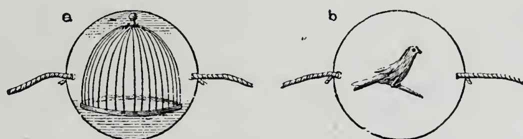


Fig. 97. — Disque du thaumatrope vu sur ses deux faces. (Page 125.)

face du disque on a figuré une cage *a*, sur l'autre face un oiseau *b* (fig. 97). Quand on fait tourner le système, les deux dessins sont aperçus en même temps, on ne voit plus qu'une image : un oiseau dans sa cage (fig. 98). Inutile d'ajouter que les dessins peuvent être variés.

On connaît l'illusion produite par le disque tournant de M. Plateau. Cet appareil est connu sous le nom de phénakisticope. A travers des fentes étroites, sont aperçus successivement des dessins représentant les différentes positions d'une action quelconque. La persistance des impressions lumineuses sur la rétine donne la sensation d'une image continue qui semble animée des mouvements mêmes dont les différentes phases ont été figurées séparément (fig. 99).

Le zootrope (fig. 100) est un perfectionnement de cet appareil,

il se compose d'un cylindre de carton tournant autour d'un axe central ; le cylindre est percé de fentes verticales équidistantes, à travers lesquelles on peut voir les dessins qui se succèdent sur une bande de papier adaptée à l'intérieur de l'appareil en rotation. Ces dessins sont exécutés de telle sorte qu'ils figurent les différents temps d'un mouvement compris entre ses deux limites extrêmes ; par suite de la persistance des impressions sur la rétine, les phases successives se confondent, et l'ob-

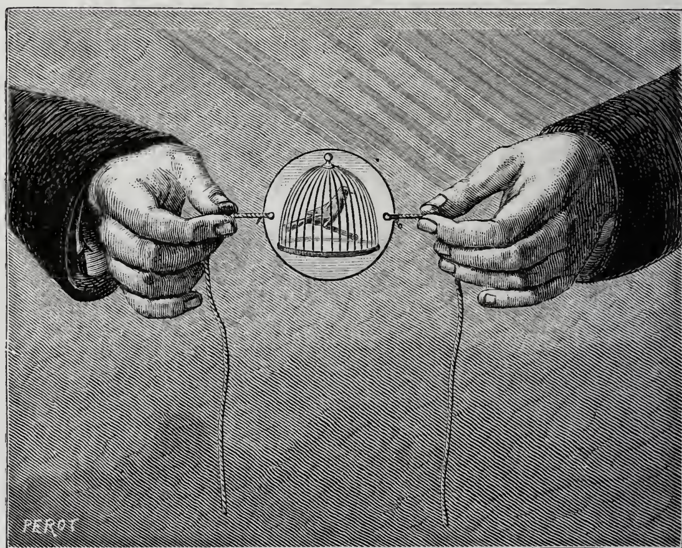


Fig. 98. — Aspect du thaumatrope en rotation. (Page 125.)

servateur croit voir, sans transition, s'exécuter le mouvement tout entier. Nous représentons (fig. 101) quelques spécimens réduits de dessins destinés au zootrope. On voit successivement un singe sautant une haie, un polichinelle dansant, un gendarme qui poursuit un voleur, un personnage *qui tire le diable par la queue*, un voleur qui sort d'un coffre, et qui y rentre successivement sous l'action des efforts d'un gendarme, un chasseur qui tue un oiseau. Les limites extrêmes du mouvement sont données par

les figures de droite et de gauche : les figures intermédiaires forment les transitions, elles sont généralement égales au nombre de fentes du zootrope. Il ne serait pas très difficile de construire soi-même un semblable instrument ; on pourrait faire des dessins moins futiles que ceux qui sont reproduits ci-contre d'après un modèle du commerce et représenter par exemple le globe terrestre tournant dans l'espace, ou un piston de corps de pompe animé de son mouvement de va-et-vient. Le zootrope, ainsi

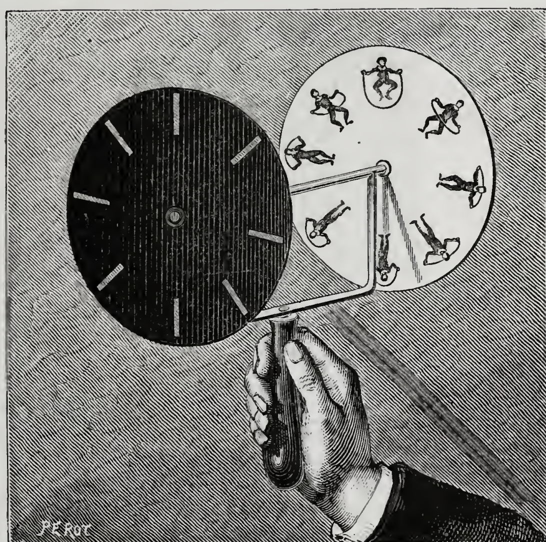


Fig. 99. — Phénakisticope de Plateau. (Page 125.)

compris, deviendrait un véritable appareil d'enseignement et d'étude.

Cet instrument est certainement l'un des plus curieux mécanismes de l'optique, et il excite toujours l'intérêt. Les ingénieux appareils qui, pendant longtemps, ont permis de produire les illusions auxquelles il donne naissance, consistent tous dans l'emploi de fentes étroites. Ces fentes réduisent dans une grande proportion la lumière et, par suite, l'éclat et la netteté du dessin ;

elles obligent à imprimer au système une grande vitesse de rotation, qui exagère outre mesure la rapidité des mouvements représentés, mais sans laquelle les intermittences de la vision ne pourraient se confondre en une sensation continue.

Nous ferons connaître à nos lecteurs un appareil basé sur une disposition optique toute différente.

Dans le *praxinoscope* [1] (nom donné par l'inventeur, M. Reynaud, à ce nouvel appareil), la substitution d'un dessin au dessin suivant se fait sans interruption dans la vision, sans solution de

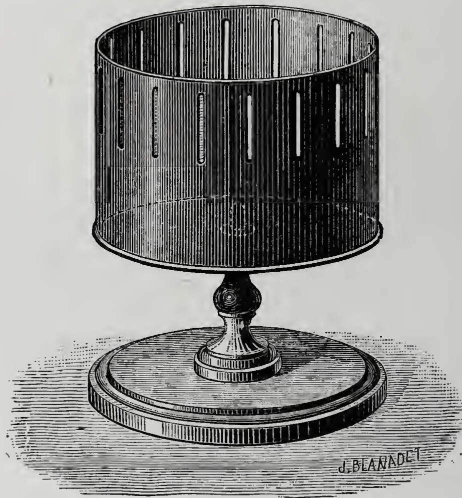


Fig. 100. — Zootrope. (Page 125.)

continuité et, par suite, sans réduction sensible de la lumière ; en un mot, l'œil voit *continûment* une image qui pourtant change devant lui incessamment.

Voici de quelle manière ce résultat est obtenu : après avoir cherché sans succès, par des moyens mécaniques, à substituer l'un à l'autre les dessins successifs, sans interrompre la continuité de la vision, l'inventeur eut l'idée de produire cette subs-

[1] De πραξις, action, et σκοπεῖν, montrer.

titution, non plus sur les dessins eux-mêmes, mais sur leurs



Fig. 101. — Spécimens de figures du zootrope. (Page 126.)

images virtuelles. C'est alors qu'il combina la disposition dont nous allons ici résumer la théorie. Soit une glace plane AB

(fig. 102) placée à une certaine distance d'un dessin CD. L'image virtuelle sera vue en C'D'.

Autour du point O, milieu de C'D', comme centre, faisons tourner la glace et le dessin d'un même mouvement. Soient BE et DF leur nouvelle position ; l'image sera en C''D''. *Son axe O ne sera pas déplacé*

Dans la position AB et CD primitivement occupée par la glace et par le dessin, plaçons une autre glace et un autre dessin. Imaginons l'œil placé en M. Une moitié du premier dessin sera vue

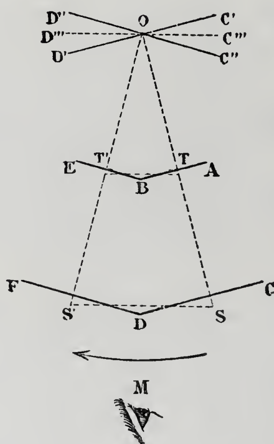


Fig. 102. — Figure explicative du praxinoscope. (Page 130.)

en OD'. Si nous continuons la rotation du système, nous aurons bientôt la glace n° 2 en TT' et le dessin n° 2 en SS'. A ce moment l'image du dessin n° 2 sera vue en entier en C'''D'''. Bientôt après la glace n° 2 et son dessin seront en BE et DF : imaginons alors une autre glace et son dessin correspondant en AB et CD, la même succession de phénomènes se reproduira.

Il résulte de ce qui précède qu'une série de dessins placés sur le périmètre d'un polygone régulier et tournant autour du centre même du polygone seront vus successivement à ce centre, si l'on a placé des glaces planes sur un polygone concentrique, dont

l'apothème sera moitié moindre, et qui sera entraîné par le même mouvement.

Dans sa forme pratique, l'appareil de M. Reynaud consiste en une boîte polygonale ou simplement circulaire (fig. 103) (car le polygone des dessins peut être remplacé par un cercle sans que le principe ni l'effet soient changés) au centre de laquelle est

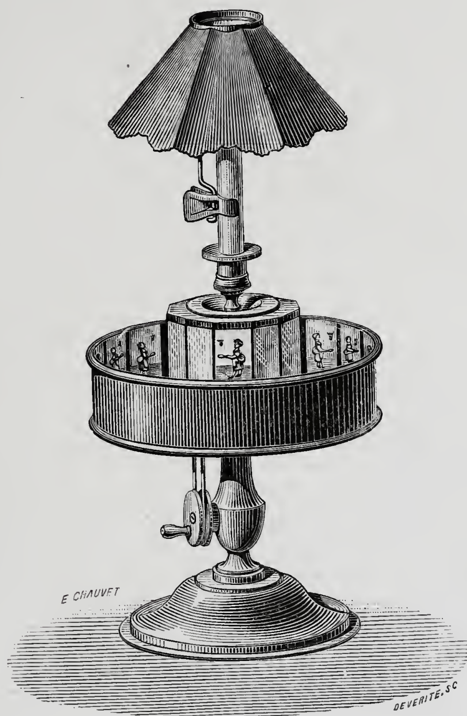


Fig. 103. — Praxinoscope de M. Reynaud. (Page 131.)

placé un prisme d'un diamètre exactement moitié moindre, et dont les faces sont garnies de miroirs plans (glaces étamées ordinaires). Une bande de carton portant une série de dessins d'un même sujet dans les différentes phases d'une action, est placée à l'intérieur du rebord circulaire de la boîte et de telle sorte que chaque pose corresponde à une face du prisme de glaces.

Une rotation modérée, imprimée à l'appareil qui est monté sur un pivot central, suffit à produire la substitution des images et l'illusion animée se produit au centre du prisme de glaces, avec un éclat, une netteté, une douceur de mouvements remarquables. Ainsi construit, le *praxinoscope* forme un jouet d'optique récréatif et gracieux.

Le soir, une bougie placée sur un support *ad hoc*, au centre de l'appareil, suffit à l'éclairer très vivement, et permet à un grand nombre de personnes rassemblées en cercle autour de l'instrument, d'être, en même temps, et sans la moindre gêne, témoins des effets qu'il produit.

Outre l'attrait qu'offrent les scènes animées du *praxinoscope*, cet appareil pourra, sans aucun doute, recevoir d'utiles applications dans les études d'optique. Il permettra de substituer un objet, un dessin, une couleur, avec une rapidité instantanée, dans les recherches sur les images secondaires, subjectives, etc., sur le contraste des couleurs, sur la persistance des impressions, etc. Il permettra de faire ce que l'on pourrait appeler la *synthèse des mouvements*, en plaçant devant le prisme une série de diagrammes obtenu d'après nature, par la photographie par exemple.

Dans le *praxinoscope-théâtre*, M. Reynaud a réussi à produire de véritables tableaux avec décors comme sur une petite scène lilliputienne, au milieu de laquelle le sujet animé se détache avec un relief saisissant (fig. 104).

Pour parvenir à ce résultat, l'auteur commence par *silhouetter* entièrement en noir chacune des poses différentes dont l'ensemble doit former un sujet qui s'animera par la rotation imprimée au praxinoscope.

Puis, pour obtenir le *décor*, il projette sur le fond noir ainsi produit l'image d'un dessin colorié approprié, à l'aide d'une glace sans tain. On connaît la propriété d'un verre ou d'une glace transparente de donner par réflexion une image des objets situés en deçà et de laisser voir en même temps les objets situés au delà. On se rappelle les applications que cet effet d'optique a reçues dans les théâtres et dans les cours de physique sous

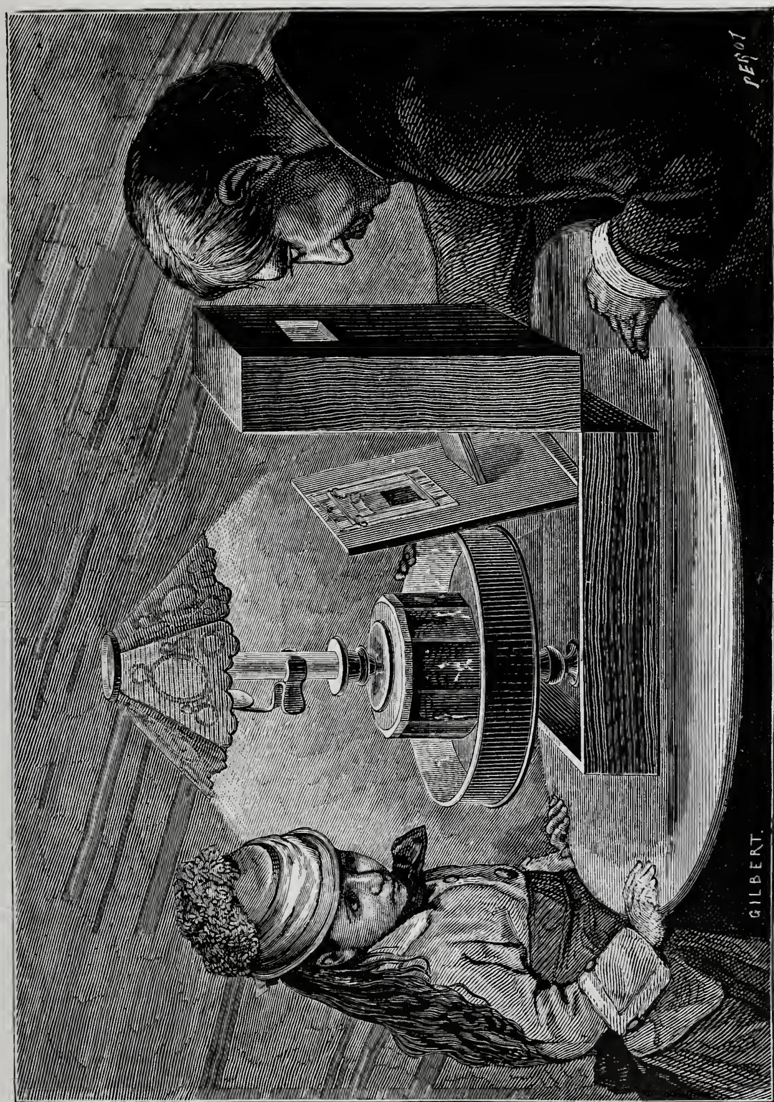


Fig. 104. — Le nouveau praxinoscope-théâtre de M. Reynaux. (Page 132.)

le nom de *spectres impalpables* dont nous parlerons plus loin.

C'est aussi par réflexion sur une mince glace non étamée que M. Reynaud obtient l'image du décor dans le *praxinoscope-théâtre*.

En réalité, le décor est placé dans le couvercle qui, retenu verticalement par un crochet, forme la paroi antérieure de l'appareil (fig. 104).

A cette paroi est aussi pratiquée une ouverture rectangulaire par laquelle le spectateur (regardant des deux yeux à la fois) aperçoit en même temps, et l'image animée du praxinoscope et l'image immobile du décor se réfléchissant sur la glace sans tain.

L'inclinaison de celle-ci et sa distance au décor sont telles que cette image est reportée en arrière du sujet animé, lequel, par suite, apparaît avec un relief *réel* sur le décor. La vision, se faisant des deux yeux, rend ce relief très sensible.

On comprend que, pour changer le décor, il suffit de placer successivement dans une coulisse, et sur une planchette *ad hoc*, les *chromos* représentant des paysages, des monuments, l'intérieur d'un cirque, etc. Il est alors facile de choisir un cadre convenable pour chacun des différents objets animés placés dans le praxinoscope.

Par cette heureuse combinaison optique, le mécanisme de l'appareil disparaît aux yeux pour ne laisser visible que l'effet produit de personnages animés, exécutant leurs mouvements, prenant leurs ébats au milieu d'un décor changeant à volonté.

Le praxinoscope-théâtre fonctionne aussi bien le soir que le jour. Le jour, il suffit de placer l'appareil devant une fenêtre bien éclairée ; le soir, on obtiendra les mêmes effets, avec plus d'éclat peut-être encore, en plaçant simplement sur le bougeoir du praxinoscope une bougie munie d'un petit réflecteur argenté et d'un abat-jour.

M. Reynaud a simplifié cet appareil en créant la *toupie-fantoche*, ainsi désignée à cause d'une certaine analogie extérieure avec une toupie : cet appareil se compose de quatre petits

miroirs triangulaires, dont les surfaces forment une pyramide à base carrée. Les côtés de cette base étant précisément doubles de la hauteur de la pyramide, les miroirs sont inclinés de 45 degrés (fig. 105).

A la pointe de la pyramide, qui est peu tronquée, se placent

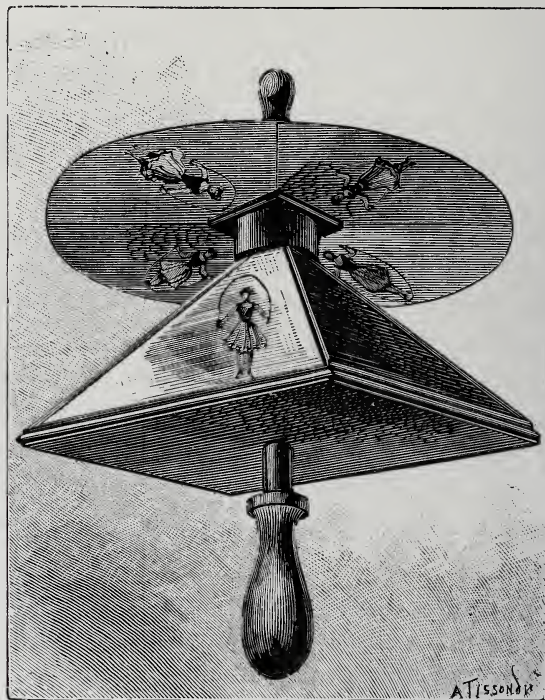


Fig. 105. — Toupie-fantoche. (Page 136.)

successivement des disques de carton, où sont figurés divers sujets, dans quatre attitudes différentes sur chaque disque.

Une rotation modérée imprimée à l'ensemble autour d'un pivot central tenu à la main amène devant les yeux les réflexions successives des quatre phases, qui se superposent au centre, et chaque sujet semble s'animer.

C'est une petite demoiselle qui saute à la corde (fig. 105), une

danseuse qui s'élance sur la corde volante, un gymnaste qui évolue sur son trapèze, un cheval qui franchit une barrière, etc.

On le voit, ce petit jouet dérive du même principe que le *praxinoscope*, dont nous avons précédemment entretenu nos lecteurs.

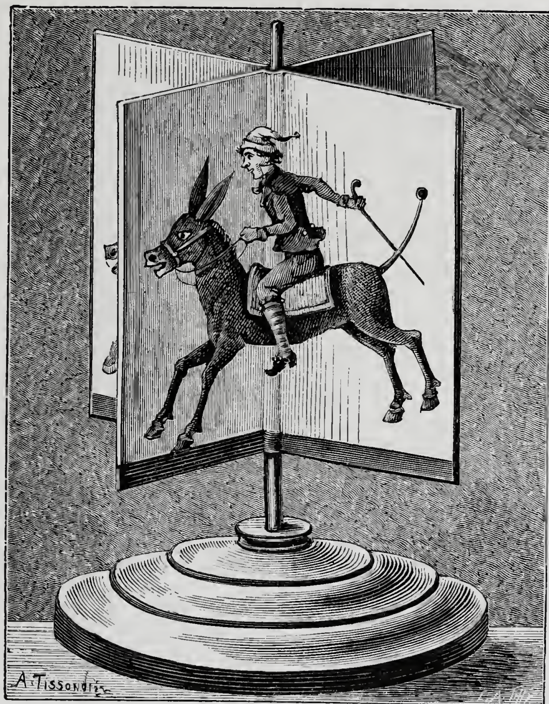


Fig. 106. — Le mulet Rigolo. (Page 137.)

Enfin nous avons vu vendre sur les boulevards un autre appareil zootropique très simple, représenté par la figure 106. Il se compose de quatre panneaux de carton montés à angle droit, autour d'un axe creux. Ce carton à quatre pans peut s'enfiler autour d'une tige verticale, fixée sur un pied, où elle tourne très facilement quand on la fait glisser entre les doigts. Les quatre angles du cartonnage comprennent un dessin zootropique ;

quand on les fait tourner, ils se confondent en un seul par suite de la persistance des impressions. Sur notre figure, l'image représentée est celle de l'indomptable mulet Rigolo, qui rue, tandis que son cavalier le frappe de son bâton. — On conçoit qu'il est facile de varier les sujets et que chacun peut ima-



Fig. 107. — Toupie éblouissante ; aspect qu'elle présente en rotation. (Page 138.)

giner des scènes plus ou moins appropriées à l'appareil.

Parmi les autres jouets basés sur la persistanee des impressions sur la rétine, nous citerons la *toupie éblouissante* (fig. 107). Ce petit appareil est si remarquable qu'il devrait, à notre avis, figurer dans tous les cabinets de physique ; c'est un ingénieux perfectionnement de la toupie à disques colorés d'Helmhotz. Il se compose d'une toupie métallique assez mas-

sive, que l'on met en rotation au moyen d'une cordelette enroulée dans la gorge pratiquée autour de la partie supérieure de son axe. Cet axe est creux et permet de recevoir une tige métallique adaptée à une poignée que l'on tient à la main. On pose la toupie en rotation dans un petit godet de porcelaine, on la place verticalement, au moyen de la tige autour de laquelle elle tourne, et que l'on tient de la main droite; on retire la tige métallique, et la toupie continue à tourner pendant un temps d'une durée assez considérable. On y pose des disques évidés au centre, de couleurs différentes et de différents diamètres; ces disques tournent avec la toupie, mais leurs couleurs se confondent et produisent des effets très variés. Les disques jaunes, bleus, rouges, successivement superposés pendant la rotation, donnent l'apparence de cercles concentriques verts, violets, oranges, d'un effet très remarquable. La toupie peut en outre recevoir, dans l'orifice de son axe, de longues tiges métalliques, analogues à des aiguilles à tricoter, dans lesquelles on a piqué des cartons minces découpés, semblables à ceux qui sont figurés à la gauche de notre figure 107. L'aiguille et le carton qui s'y trouve adapté participent au mouvement de rotation de la toupie, et alors le carton découpé, étant aperçu en même temps dans les positions successives qu'il occupe en tournant, offre l'aspect d'un vase, d'une sphère ou d'une coupe, suivant la forme du carton employé.

Les effets produits par la *toupie éblouissante* sont extrêmement variés. On peut encore faire tourner des disques de carton à des niveaux différents et piquer dans l'axe central des cartons à deux faces, qui donnent les effets du thaumatrope.

Les illusions d'optique sont si considérables que nous ne saurions avoir la prétention de les résumer toutes. Nous en citerons quelques autres exemples pour terminer ce chapitre.

On doit à M. Silvanus P. Thompson, professeur de physique à University College (Bristol), d'intéressantes études sur une illusion d'opti ue produite au moyen de cercles convenablement disposés et que l'auteur appelle *cercles stroboscopiques*.

Le premier système de figures consiste en une série de cercles concentriques de 1 millimètre de largeur environ, séparés par des intervalles blancs de même largeur (fig. 108) ; ces dimensions n'ont rien d'absolu : elles varient avec la distance et peuvent même atteindre plusieurs centimètres s'il s'agit de montrer le phénomène à un auditoire un peu nombreux. Si, tenant ce dessin à la main, on vient à lui imprimer, par un léger déplacement du poignet, un mouvement circulaire dans son plan, le cercle paraît tourner autour de son centre, et cette rotation s'effectue dans le sens du mouvement réel et avec une égale



Fig. 108.



Fig. 109.

Fig. 108 et 109. — Illusion d'optique de M. P. Thompson. Imprimez un mouvement circulaire à ces figures, les cercles paraîtront tourner. (Page 140.)

vitesse angulaire, c'est-à-dire que le cercle paraît décrire un tour complet pendant que le carton en décrit réellement un et dans le même sens. Pour que l'effet soit très net, il convient de regarder le cercle pendant son mouvement en fixant le regard sur un point voisin.

Pour le second effet on trace un cercle noir à l'intérieur duquel sont figurées un certain nombre de dents régulièrement espacées (fig. 109). En opérant comme il a été dit plus haut, cette sorte de roue dentée paraît tourner autour de son centre, mais cette fois, en sens contraire du mouvement réel. Là encore l'effet

est plus satisfaisant si l'on ne regarde pas directement le dessin : aussi les mouvements sont-ils particulièrement remarquables dans des combinaisons telles que celle représentée dans la figure 110, dans laquelle la multiplicité des cercles ne permet pas d'en fixer un spécialement.

Nous ajouterons que l'on obtient des résultats analogues avec des cercles excentriques ou même avec des courbes autres que des cercles. A l'aide d'une photographie sur verre, M. Thompson

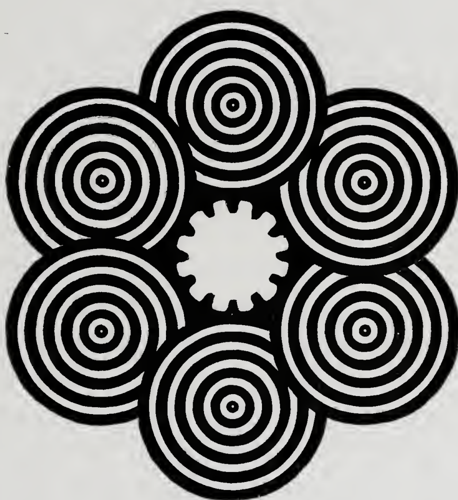


Fig. 110. — Autre figure de M. Thompson. Les cercles paraissent tourner, si on donne au dessin un léger mouvement de rotation. (Page 141.)

a pu projeter ces dessins sur un écran où ils étaient obtenus à une très grande échelle : un mouvement circulaire était communiqué à la plaque photographique, de telle sorte que le dessin se mouvait circulairement sur l'écran, et dans ce cas encore on avait l'illusion : chaque cercle semblait tourner autour de son centre.

Quelle est l'explication de ces apparences curieuses ; M. Thompson ne croit pas, et nous partageons cette opinion, que la propriété que possède la rétine de conserver les images pendant

un certain temps (*persistance des impressions dans la rétine*) puisse expliquer complètement ces effets. Sans en vouloir donner une théorie entière, M. Thompson pense que l'on doit rapprocher ces phénomènes d'autres qui sont signalés au moins en partie, depuis longtemps, et que peut-être il faudrait attribuer à l'œil une propriété nouvelle qui expliquerait le tout à la fois.

Brewster et Addams ont décrit des apparences qui sont également curieuses et dont nous rappellerons les principales en y joignant quelques observations analogues dues aussi à M. Thompson ; il semblerait en résulter qu'il existe dans l'œil un effet de nature mal définie, qui arriverait à faire *compensation* (Brewster) au phénomène réel parce qu'il serait de sens contraire, effet qui persisterait pendant un certain temps après la cessation du phénomène et qui, seul dès lors, donnerait une sensation inverse à celle que l'action réelle aurait dû produire absolument.

Ainsi, après avoir fixé les yeux pendant deux ou trois minutes sur l'eau qui tombe dans une cascade, si l'on vient brusquement à porter les regards sur des rochers situés dans le voisinage, ceux-ci paraissent se mouvoir de bas en haut. Il ne s'agit pas ici, bien entendu, de l'effet de mouvement relatif que l'on peut observer en regardant *simultanément* l'eau qui tombe et les rochers : si l'on parvient à s'abstraire suffisamment pour que l'eau paraisse immobile, les rochers paraissent prendre un mouvement égal et contraire. Dans l'effet que nous rapportons, il n'y a pas comparaison simultanée : on regarde *successivement* et *simultanément* l'eau d'abord et les rochers ensuite.

Dans un fleuve à cours rapide, le Rhin au-dessus de la chute de Schaffouse, par exemple, les eaux n'ont pas partout la même vitesse, et le courant est notablement plus rapide dans la partie médiane que près du rivage. Si l'on regarde fixement la partie centrale, puis que l'on dirige brusquement les yeux vers les bords, il semblera que l'eau remonte vers la source.

Cette sorte de *compensation* ne paraît pas seulement se produire pour un déplacement, mais également pour des change-

ments de grandeur apparente. Lorsque dans un train marchant à grande vitesse on regarde la campagne qui fuit, les objets qui s'éloignent et que l'on fixe forment évidemment sur la rétine des images de plus en plus petites. Si, dans ces conditions, on reporte soudainement les yeux à l'intérieur du wagon sur des objets qui sont immobiles par rapport à l'observateur, soit les parois, soit même la figure des compagnons de voyage, les images rétiniennes conserveront réellement la même grandeur, et, cependant, ces objets paraîtront croître et se rapprocher.

Tels sont quelques-uns des faits intéressants que l'on peut rapprocher de ceux que M. S.-P. Thompson a découverts et auxquels celui-ci serait porté à assigner une cause commune[1].

L'expérience que l'on peut exécuter à l'aide du dessin ci-contre (fig. 111) se rattache au contraire au principe de la persistance des impressions sur la rétine auquel il faut joindre celui des couleurs complémentaires.

Regardez fixement avec les deux yeux le petit diable blanc (fig. 111) dessiné sur un fond noir, attachez plus spécialement votre regard sur le trait noir du milieu, jusqu'à ce que vous sentiez vos yeux un peu fatigués (cela dure une demi-minute), vous dirigerez alors le regard vers le plafond au-dessus de votre tête, et au bout de quelques secondes (15 à 20) la silhouette du diable apparaît très nettement en gris et cela à plusieurs reprises.

Cette petite expérience gagne à être faite avec une vive lumière. Nous avons souvent constaté qu'elle réussit très bien. Si l'on fixe un petit diable peint en *rouge* et bien éclairé, on voit au plafond la silhouette du personnage se découper sur un fond de couleur *verte*. Quand l'expérience est exécutée par plusieurs personnes, elle ne manque pas d'exciter la gaieté. Rien n'est plus singulier que de voir tous les assistants fixer le plafond blanc, la tête levée, pour attendre l'apparition (Pl. I). Une

[1] Voy. *la Nature*, 1879, 2e semestre, p. 53. Notice de M. Gariel.

simple carte à jouer, un as de carreau ou de cœur peuvent très bien remplacer le dessin du diable rouge[1]. Enfin si l'on ne veut pas fixer le plafond, il suffit de jeter les yeux sur une feuille de



Fig. 111. — Regardez fixement cette figure pendant 40 à 50 secondes; dirigez ensuite votre regard vers un point du plafond ou d'une surface blanche, au bout de quelques secondes vous verrez apparaître en gris l'image blanche de la figure. (Page 143.)

papier blanc, après avoir regardé fixement l'image rouge pendant la durée convenable.

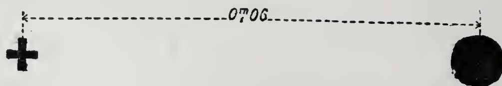


Fig. 112 destinée à l'expérience du *punctum cæcum* de l'œil. (Page 144.)

Arrivons à présent à la curieuse expérience d'optique relative au *punctum cæcum* de l'œil. La figure 112 ci-dessus va vous

[1] On peut encore faire l'expérience en fixant une cocarde blanche, noire, verte ; on verra son image complémentaire bleu, blanc, rouge.

permettre de la réaliser facilement. Fermez votre œil gauche en y posant la main gauche; prenez de la main droite le présent volume, et présentez, devant votre œil droit ouvert, la figure 112 tenue à l'extrémité du bras. Regardez de l'œil droit la petite croix noire seulement, et rapprochez peu à peu



Fig. 113. — Expérience donnant l'apparence de la main percée d'un trou. (Page 146.)

le dessin de votre visage : il arrivera un moment où votre œil cessera de voir le rond noir. Rapprochez encore la figure, et les deux images, croix et rond, apparaîtront de nouveau. Il y a dans l'œil un point qui n'est pas sensible à l'action d'un rayon lumineux : c'est le *punctum cæcum*.

Percez une carte de visite, ou une carte à jouer d'un trou d'épingle ; en considérant un objet de très près (2 centimètres environ), caractères d'imprimerie par exemple, à travers ce

trou, vous verrez qu'il agit à la façon d'une loupe et que l'objet considéré se trouve amplifié.

La figure 113 représente une autre expérience d'optique très curieuse et très facile à exécuter. Faites, au moyen d'une feuille de papier un peu consistante, un cylindre que vous tiendrez de la main gauche et que vous appliquerez contre l'œil droit à la façon d'une lunette. Laissez ouverts vos deux yeux. Si vous considérez un objet, éloigné de quelques mètres, tel qu'une petite statuette, c'est votre œil gauche qui verra l'objet, et il vous semblera qu'il le voit à travers un trou percé dans la main, comme l'indique la partie supérieure de la gravure.

Parmi les illusions d'optique les plus curieuses, il en est un grand nombre que l'on peut produire à l'aide de miroirs. La lunette brisée en est un exemple. Cet appareil monté sur un pied fermé permet de voir en apparence un objet à travers un pavé ou un corps opaque (fig. 114). La coupe de la lunette en explique suffisamment la disposition. L'observateur qui a l'œil placé devant l'oculaire aperçoit nettement l'image de l'objet exposé en regard de l'objectif; cette image est réfléchie quatre fois avant d'arriver à son œil, au moyen de petits miroirs dissimulés dans l'instrument. Le pied de la lunette, que nous représentons ouvert sur la figure, est en réalité fermé de toutes parts et l'illusion est complète.

Les miroirs concaves ou convexes déforment singulièrement les images et produisent des effets très intéressants. Les *anamorphoses* constituent des dessins particuliers qui rentrent dans la classe des expériences relatives aux miroirs cylindriques. Ce sont des images faites suivant des règles déterminées, mais tellement déformées que l'on y distingue seulement, quand on les regarde directement, des traits confus. Quand on les voit par réflexion dans des miroirs courbes, elles présentent au contraire un dessin régulier. Nous donnons plus loin (fig. 115) un spécimen d'une figure semblable qui, vue dans un miroir cylindrique, donne l'aspect d'un dix de cœur; on peut employer des miroirs coniques qui donnent encore des effets particuliers

et non moins intéressants. La figure 116 montre une anamorphose faite pour un miroir cylindrique, on voit que l'image confuse du papier horizontal se réfléchit dans le miroir en donnant l'image d'un jongleur. Le petit jongleur si nettement réfléchi dans le miroir est méconnaissable sur le dessin. Il est facile de confectionner soi-même de semblables images,

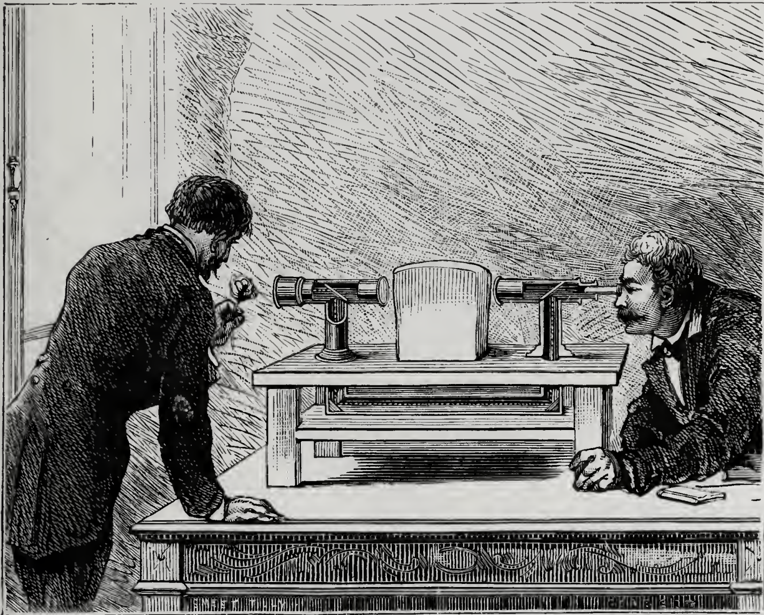


Fig. 114. — Lunette brisée. (Page 146.)

qui offrent un excellent exercice et un charmant objet de récréation.

Une des plus remarquables applications des miroirs à la physique amusante est sans contredit celle qui en a été faite dans la curieuse expérience du *décapité parlant*.

Il y a quelques années, le *décapité parlant* a obtenu à Paris et dans un grand nombre d'autres villes un véritable succès de curiosité. Les visiteurs jetaient les yeux dans une petite salle où ils ne pénétraient pas, et où ils apercevaient une table à trois

pieds; au-dessus de cette table était une tête humaine, posée sur un foulard au milieu d'un plateau. Cette tête remuait les yeux et parlait, elle appartenait assurément à un homme, dont le corps était absolument dissimulé (fig. 118, page 153).

Les spectateurs croyaient voir un espace vide au-dessous de la table, mais le corps de l'individu qui s'y trouvait assis était dissimulé par deux glaces étamées posées à 45° par rapport aux

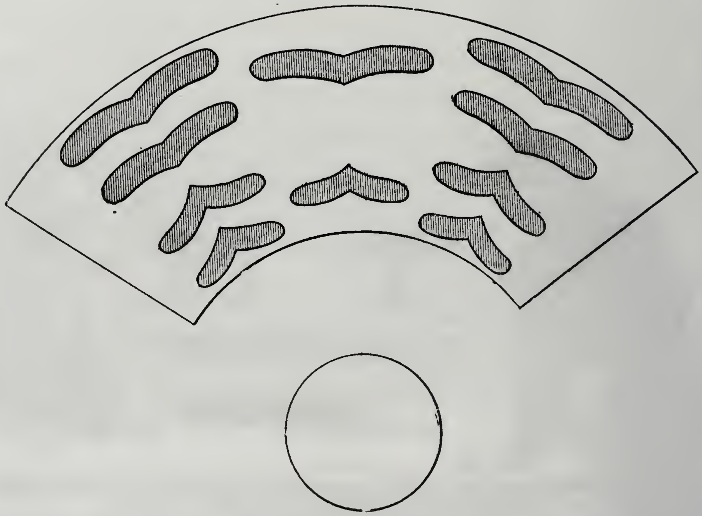


Fig. 115. — Dessin anamorphique d'une carte à jouer. (Page 146.)

murs de droite et de gauche. Le tout était disposé de telle manière que l'image de ces murs coïncidait avec la partie visible du mur du fond de la salle. Si l'on eût jeté une pierre entre les pieds de la table, on eût cassé les miroirs qui réfléchissaient les murs de droite et de gauche. Un mauvais plaisant se servit un jour de ce procédé. Pour que l'illusion soit bien complète, les trois murs doivent être badigeonnés de la même couleur afin qu'ils soient bien semblables entre eux.

Les *spectres* imaginés sur le théâtre par le physicien Robin ont attiré aussi très vivement jadis l'attention publique. Il s'agis-

sait ici d'images formées par l'intermédiaire de glaces transparentes comme celles dont sont munies les devantures des magasins dans les grandes villes. Les glaces non étamées et les carreaux reproduisent très fréquemment le phénomène des spectres. Le soir, quand il fait sombre au dehors, il est facile de

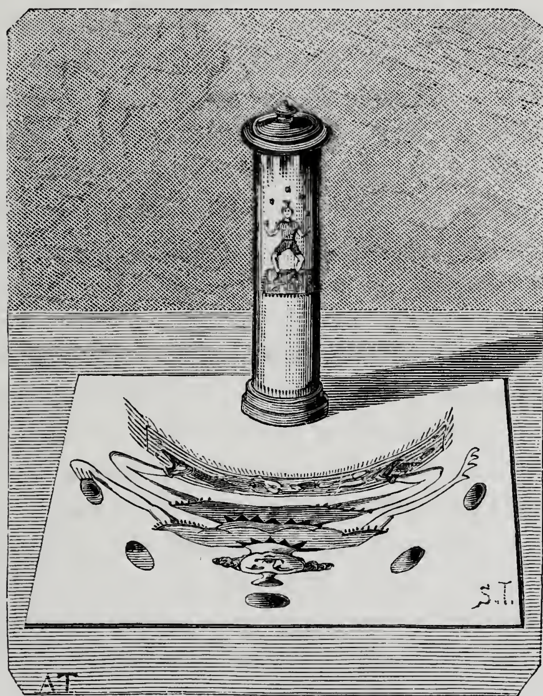


Fig. 116. — Miroir cylindrique et anamorphoses. (Page 147.)

constater que l'image des objets placés dans une pièce éclairée se reproduit derrière les vitres des fenêtres à la faveur de l'obscurité du dehors. Si l'on s'approche de la vitre, on voit cependant aussi les objets réels du dehors, une balustrade de balcon, un arbre, etc. Ces objets réels peuvent ainsi se confondre avec l'image réfléchie d'un autre objet, et être combinés de manière à produire des effets curieux. C'est ce que M. Robin avait fait pour les effets de théâtre. Il projetait sur la scène l'image d'un

personnage habillé en zouave, et lui-même, armé d'un sabre, traversait le corps de ce *spectre :* un grand nombre d'autres effets singuliers étaient obtenus de la même facon, et pendant quelques années les théâtres ont exploité sous un grand nombre de formes ces curieuses illusions d'optique.

Voici comment l'opérateur obtenait cet effet :

Sous le plancher du théâtre, une lampe électrique, ou mieux une lampe éclairée par la lumière de Drummond, lançait des rayons sur le personnage vivant qui jouait le rôle de spectre, diable ou fantôme. Sur la partie antérieure de la véritable scène, en avant même des rideaux qui encadraient le décor, se trouvait fixée une glace sans tain, de belle qualité, bien transparente, qui séparait les spectateurs du personnage en scène. Cette glace était inclinée à 45 degrés par rapport au plan du théâtre.

Les rayons projetés sur le personnage vivant, sous la scène, se réfléchissaient sur cette glace, et l'image de ce personnage ainsi dissimulé se produisait en scène à côté de l'acteur, comme l'image d'un voyageur dans un wagon se produit sur la voie du chemin de fer par l'effet de la glace de la fenêtre.

La salle du théâtre pendant l'apparition était dans un demi-jour, et le spectre, bien éclairé sur la scène, se découpait sur un fond noir. Si, comme on peut en juger, la théorie de cette expérience est très simple, on doit reconnaître que l'exécution offre d'assez grandes difficultés, surtout pour le personnage qui joue le spectre. Il faut, en effet, qu'il se tienne renversé à 45 degrés pour que son image paraisse debout sur la scène, et comme il ne peut pas marcher facilement dans cette position si penchée, il produit un fantôme qui n'est jamais complètement droit ; il faut en outre qu'il combine avec une grande justesse ses mouvements pour les faire concorder avec ceux de l'acteur, qui n'opère qu'à tâtons derrière la glace. Toutes ces conditions sont difficiles à bien réaliser, et on a depuis longtemps renoncé aux *spectres* dans les théâtres.

Dans ces derniers temps on a utilisé les images formées d'une

manière analogue, pour faciliter l'étude du dessin au moyen d'un petit appareil très ingénieux.

Un carreau de verre est fixé verticalement sur une planchette de couleur noire (fig. 117). Un dessin à copier est posé à côté de ce carreau ; si l'on se place de telle façon que le rayon visuel passe obliquement à travers le carreau, on aperçoit très nettement l'image du dessin de l'autre côté du modèle. Il est alors facile de le reproduire sur un papier blanc avec un crayon ; on n'a qu'à suivre les traits de l'image.

A défaut du petit appareil que nous figurons, il est facile d'en construire un soi-même à l'aide d'un verre à vitre. Il suffit même de tenir le verre vertical en le serrant sur son bord entre les feuillets d'un gros livre placé debout. Les images produites offrent l'inconvénient d'être *retournées*, ce qui ne permet pas de retracer sans inconvénients tous les genres de modèles.

Parmi les expériences d'optique faciles à exécuter, nous citerons celles qui se rattachent aux curieux phénomènes du mirage. Il suffit de chauffer une plaque de fonte horizontale au-dessus d'un fourneau allumé, et de regarder à distance un objet éloigné en le considérant à travers la colonne d'air chaud qui s'élève au-dessus de la plaque de fonte ; on verra cet objet se déformer ou son image apparaître en un point de l'espace différent de celui où il se trouve réellement. Ces effets sont dus à la différence de densité des couches d'air à travers lesquelles passe le rayon visuel; ils reproduisent ceux qui trompent le voyageur quand il parcourt les déserts ou les régions de sable, alors que le soleil est ardent.

Après les illusions de la vision nous dirons un mot des illusions du tact. Nous citerons l'expérience que représente la figure ci-contre (fig. 119), et que presque tout le monde connaît depuis l'époque du collège. On place le médium de la main par-dessus l'index et on touche avec les deux doigts, ayant pris la position indiquée par notre gravure, une bille ou une boulette de mie de pain. Dès que le contact est établi, on éprouve la sensation que donnerait le toucher de deux billes ou de deux boulettes distinctes.

Nous le répétons, cette illusion du tact est très connue ; mais son explication l'est beaucoup moins.

Dans la position normale des doigts, une même boule ne peut toucher en même temps les côtés extérieurs des deux doigts voisins. Quand on croise les doigts, les conditions normales sont



Fig. 117. — Appareil pour dessiner au moyen de l'image du modèle. (Page 151.)

exceptionnellement changées, mais l'interprétation instinctive reste la même, à moins que la fréquente répétition de l'expérience n'ait complété sur ce point l'éducation première. Il suffit, en effet, de répéter l'expérience un grand nombre de fois pour que l'illusion devienne de moins en moins appréciable.

Il est facile de se rendre compte que dans le domaine du toucher, le jugement porté instinctivement se trouve en défaut quand les conditions normales sont modifiées. C'est ainsi que

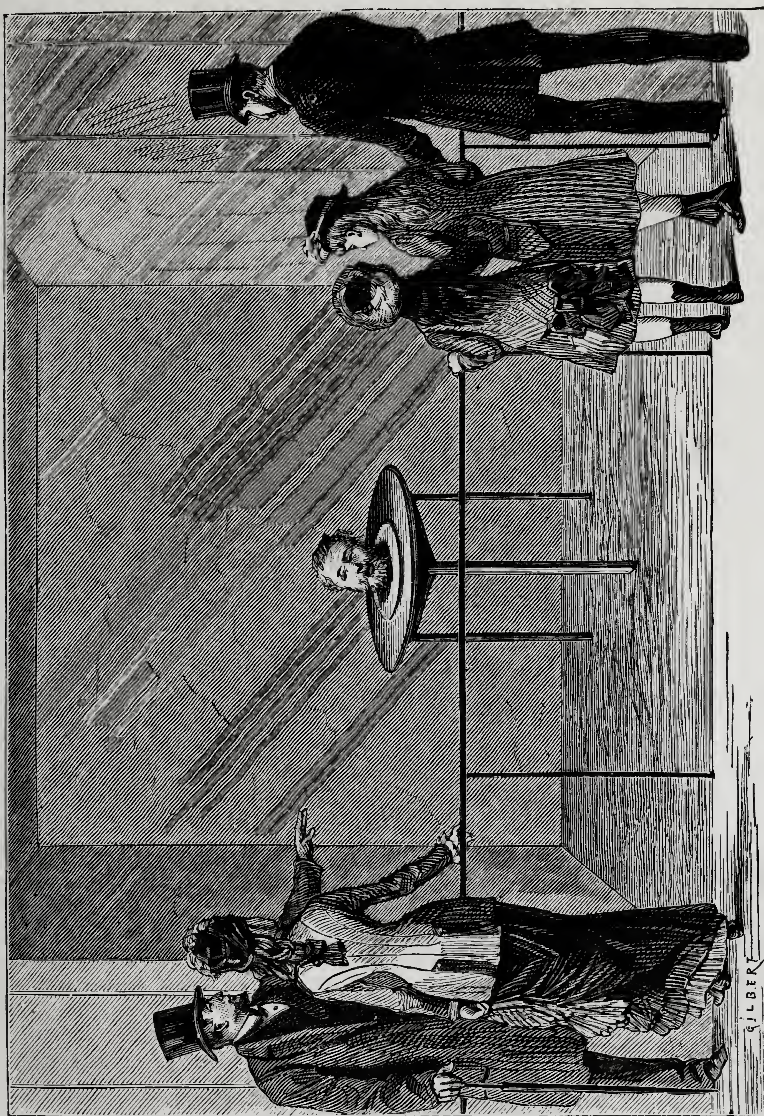


Fig. 118. — Le décapité parlant. (Page 148.)

lorsque l'on a aux lèvres un petit gonflement accidentel (bouton, tumeur, etc.), le verre dans lequel on boit paraît avoir les bords déformés.

Les faits de cette nature sont très intéressants à étudier. Ils montrent que le jugement que nous portons sur les réalités ma-

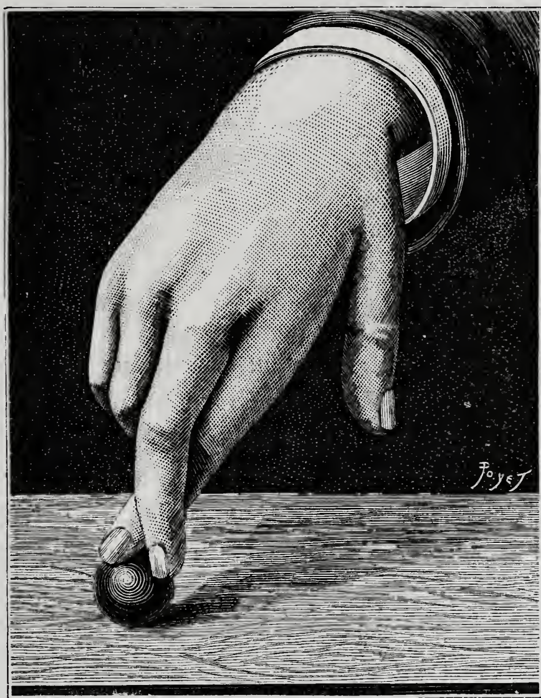


Fig. 119. — Figure montrant la position qu'il faut donner au médium et à l'index pour éprouver la sensation de deux billes en n'en touchant qu'une seule. (Page 151.)

térielles extérieures est basé sur l'interprétation de nos impressions sensibles. L'impression des sens est une chose toute physique. L'interprétation est affaire d'habitude et d'éducation.

Après avoir passé en revue un certain nombre d'illusions qui nous ont donné l'occasion d'entreprendre de nombreuses expériences, nous allons aborder un genre de récréations un peu plus sérieux, pour lequel nous aurons à demander de la part du lecteur une application soutenue.

CHAPITRE IV

L'ANALYSE DES HASARDS ET LES JEUX MATHÉMATIQUES

L'analyse des hasards, également connue sous le nom de *calcul des probabilités*, est une science qui, jadis cultivée avec ardeur, est aujourd'hui presque tombée dans l'oubli.

Fondée par le caprice d'un bel esprit, le chevalier de Méré, qui proposait à Pascal, en 1734, deux difficultés de jeu, l'analyse des hasards a nécessité des études d'un genre entièrement nouveau. Il s'agissait d'y mesurer le degré mathématique de croyance dont pouvaient être dignes de simples conjectures.

Nous ne parlerons pas des nombreuses discussions auxquelles a donné lieu cette étude spéciale, nous ne dirons rien des principes de Laplace, mais nous citerons quelques faits.

Jacques Bernouilli a établi ainsi qu'il suit la conséquence de ses méditations sur le calcul des probabilités :

Une urne contenant des boules blanches et noires est mise devant le spectateur, qui tire une boule, constate la couleur et la remet dans l'urne. Après une série d'épreuves assez longues, le nombre total des boules extraites, divisé par le nombre total des boules, représente une fraction très approchée de celle qui a pour numérateur le nombre réel des boules blanches existant dans l'urne, et pour dénominateur le nombre total des boules.

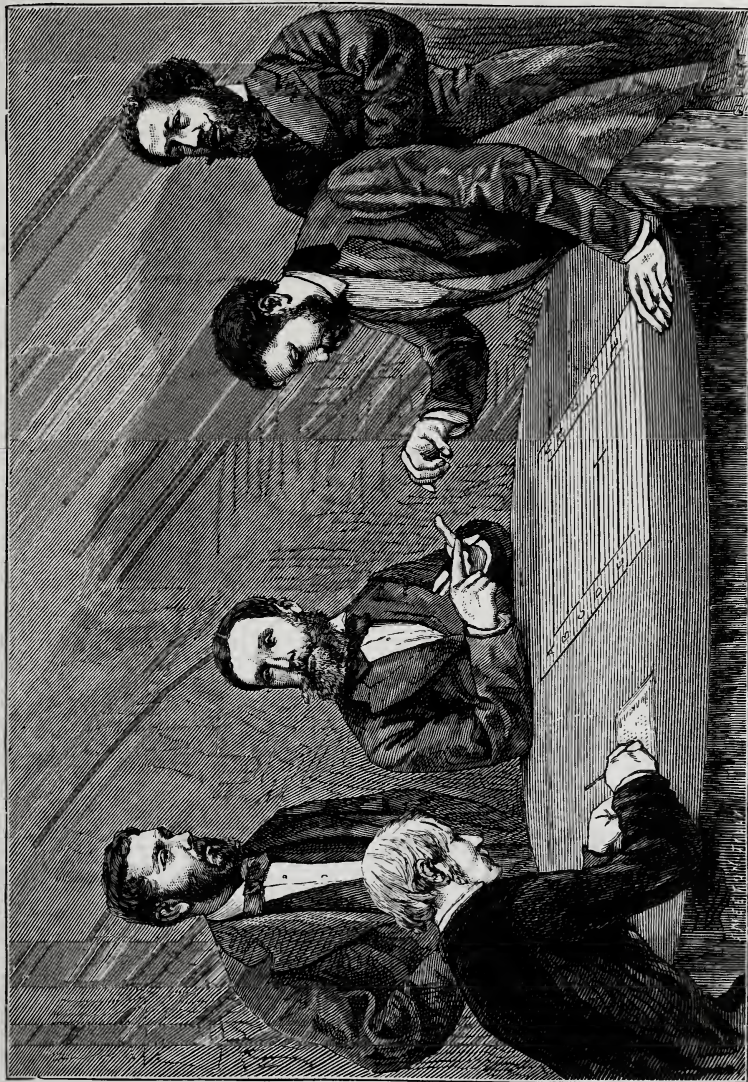


Fig. 120. — Le jeu de l'aiguille. (Page 160.)

En d'autres termes, les deux rapports du nombre soit des boules blanches extraites, soit des boules blanches réellement existantes au nombre total des boules, tendent de plus en plus à se confondre ; ou bien encore, la probabilité tirée de cette expérience approche indéfiniment de la certitude. Les deux fractions peuvent différer entre elles aussi peu qu'on voudra, si l'on prolonge suffisamment les épreuves.

On tire de ce théorème plusieurs conséquences :

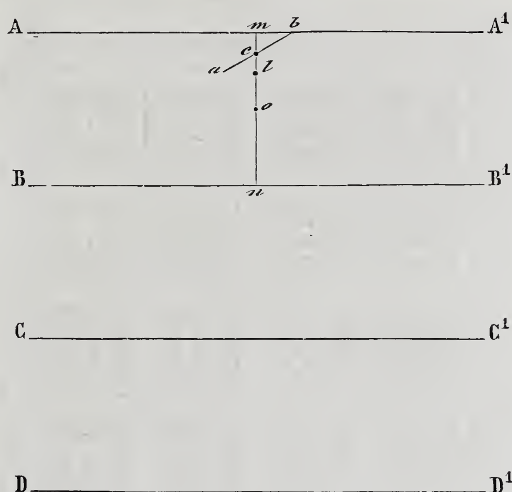


Fig. 121. — Disposition du tracé destiné à servir au jeu de l'aiguille, relative au calcul des probabilités. (Page 160.)

1° Les rapports des effets de la nature sont à peu près constants quand ces effets sont considérés en grand nombre ;

2° Dans une série d'événements, indéfiniment prolongée, l'action des causes régulières et constantes l'emporte à la longue sur celle des causes irrégulières.

Les combinaisons que les jeux présentent ont été l'objet des premières recherches sur les probabilités ; mais sans insister sur ce point nous signalerons le *jeu de l'aiguille*. Il s'agit d'une véritable récréation mathématique, dont le résultat, indiqué par la théorie, confirme les règles dont nous venons de donner l'énoncé.

Ce jeu peut être considéré comme une remarquable application des principes posés sur les probabilités.

Si l'on trace sur une feuille de papier une série de lignes AA^1, BB^1, CC^1, DD^1 parallèles et équidistantes, et que l'on projette au hasard, sur cette feuille de papier, une aiguille *ab* entièrement cylindrique dont la longueur sera égale à la moitié de la distance des parallèles (fig. 120 et 121), on constatera ce résultat curieux.



Fig. 122. — Le *taquin*, jeu mathématique. (Page 163.)

Si l'expérience est prolongée assez longtemps; pour fixer les idées, si l'on projette cent fois l'aiguille au hasard, il arrivera que dans ces cent épreuves, l'aiguille rencontrera une quelconque des parallèles un certain nombre de fois. En divisant le nombre des épreuves par le nombre des rencontres, on obtiendra comme quotient un nombre qui se rapprochera d'autant plus de la valeur du rapport de la circonférence au diamètre, qu'on aura multiplié davantage les épreuves.

Ce rapport, suivant les principes de la géométrie, est

un nombre fixe dont la valeur numérique est : 3,1415926.

Après cent épreuves, on trouve généralement la valeur exacte jusqu'aux deux premiers chiffres : 3,1.

Comment expliquer cette conséquence inattendue?

L'application du calcul des probabilités en donne la raison. Le rapport indiqué des rencontres au nombre des épreuves est la probabilité de cette rencontre. Le calcul cherche à évaluer cette

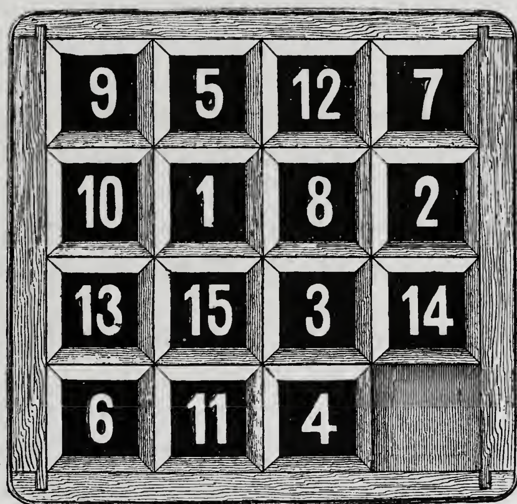


Fig. 123. — Dés du *taquin* placés au hasard, le n° 16 étant enlevé. (Page 163.)

probabilité en faisant l'énumération des cas possibles et des événements favorables.

L'énumération des cas possibles exige l'application du principe des probabilités composées. On voit facilement qu'il suffit de considérer les chances qu'a l'aiguille de tomber entre deux parallèles déterminées AA^1 et BB^1 (fig. 121), ensuite qu'il suffit même de considérer ce qui se passe dans l'intervalle *mn* égal à l'équidistance. Pour une rencontre, il faut donc :

1° Que le milieu de l'aiguille tombe entre *m* et *l* milieu de *mo*;

2° Que l'angle de l'aiguille avec *mo* soit plus petit que l'angle *mcb*.

L'évaluation de chacune de ces probabilités et leur combinaison par une multiplication, suivant le principe des probabilités composées, donnent finalement pour expression de la probabilité le nombre π.

Cet exemple curieux justifie le théorème de Bernouilli relatif à la multiplicatien des événements : il n'y a pas de limite à l'approximation du résultat lorsqu'on prolonge assez loin l'épreuve.

Lorsque la longueur de l'aiguille n'est pas exactement la moitié de la distance des parallèles (elle peut être quelconque, pourvu qu'elle reste inférieure à cette distance), la règle pratique du jeu est la suivante :

Il faut multiplier le rapport du nombre des projections au nombre des rencontres par le double du rapport de la longueur de l'aiguille à l'intervalle des parallèles. Dans le cas particulier cité plus haut, le double du dernier rapport a pour valeur l'unité. Nous donnerons une application numérique citée par les auteurs.

Avec une aiguille de 50 millimètres de longueur projetée 10000 fois, en une série de parallèles dont la distance était de $63^{mm},6$, on a trouvé un nombre de rencontres égal à 5009.

On prend le rapport $\frac{1000}{5009}$, on le multiplie par le rapport $\frac{1000}{631}$ et le produit est : 3,14121.

La vraie valeur est : 3,1415.

On a une approximation de $\frac{6}{10000}$.

Les dimensions indiquées dans cette expérience sont celles qui présentent, pour un nombre déterminé d'épreuves, le plus de chances d'obtenir la plus grande approximation possible.

Nous terminerons ces considérations sur les jeux par quelques réflexions empruntées à Laplace.

« L'esprit a ses illusions, comme le sens de la vue ; et de même que le toucher corrige celles-ci, la réflexion et le calcul corrigent les premières. La probabilité fondée sur une expérience journalière, ou exagérée par la crainte et par l'espérance, nous frappe plus qu'une probabilité supérieure, mais ce n'est qu'un simple résultat de calcul...

« Dans une longue série d'événements du même genre, les seules chances du hasard doivent quelquefois offrir ces veines singulières de bonheur ou de malheur, que la plupart des joueurs ne manquent pas d'attribuer à une sorte de fatalité. Il arrive souvent, dans les jeux qui dépendent à la fois du hasard et de l'habileté des joueurs, que celui qui perd, troublé par sa perte, cherche à la réparer par des coups hasardeux qu'il éviterait dans une autre situation ; il aggrave ainsi son propre malheur et il en prolonge la durée. C'est cependant alors que la prudence devient nécessaire et qu'il importe de se convaincre que le désavantage moral, attaché aux chances défavorables, s'accroît par le malheur même. »

Les jeux mathématiques, autrefois très recherchés, ont fait récemment une nouvelle apparition, sous forme d'un petit appareil connu sous le nom de *taquin*.

Ce jeu, qui nous vient d'Amérique, où il est appelé *puzzle*, consiste en une boîte quadrangulaire dans laquelle sont placés seize petits dés mobiles en bois, numérotés de 1 à 16 (fig. 122). Voici en quoi consiste le jeu du *taquin*. On retire le dé de bois n° 16, et on place les autres dés au hasard dans la boîte, comme le représente la figure 123 par exemple. Il s'agit alors de déplacer les dés, en les faisant glisser d'une place à une autre, de manière à ce qu'ils soient rangés dans leur ordre naturel de 1 à 15. Il faudra, par exemple, si le hasard a placé les dés comme dans la figure 123, faire en sorte de ramener les dés dans la position qu'ils occupent figure 122 ; on doit y arriver en se bornant à faire marcher les dés, sans les soulever du fond de la boîte.

Les complications de ce jeu, en apparence très simple, sont étonnantes, et donnent lieu à une infinité de combinaisons souvent intéressantes.

Quand on ajoute le seizième dé, on peut varier le jeu, et chercher la solution du problème, qui consiste à aligner les numéros de telle sorte que la somme des rangées horizontales, verticales ou diagonales donne 34. Considéré sous cette forme, ce problème

est un des plus anciens que l'on puisse mentionner. Il remonte au temps des premiers Égyptiens. On s'en est préoccupé très fréquemment pendant le cours des siècles derniers, et il rentre dans la série des fameux *carrés magiques*, dont nous allons résumer les principes bien connus des mathématiciens.

Voici la définition qu'a donnée à ce sujet Ozanam, de l'Académie des sciences de Paris, à la fin du dix-septième siècle :

On appelle *carré magique* un carré divisé en plusieurs autres

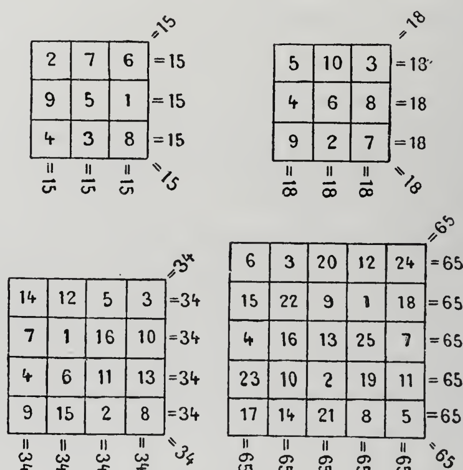


Fig. 124. — Exemples des carrés magiques formés par les termes d'une progression arithmétique. (Page 165.)

petits carrés égaux ou cases, remplis de termes d'une progression, qui y sont déposés de telle sorte que tous ceux d'un même rang, tant en long qu'en large et en diagonale, font une même somme quand on les additionne, ou donnent un même produit quand on les multiplie.

Il résulte de cette définition qu'il y a deux espèces de carrés magiques, les uns sont formés par les termes d'une progression arithmétique, les autres par les termes d'une progression géométrique. On distingue encore les carrés magiques pairs et les carrés magiques impairs.

Nous donnons ci-contre plusieurs exemples de carrés magiques à termes de progression mathématique ; parmi ceux-ci le carré de 34 donne une des solutions du *taquin* (fig. 124).

Nous donnerons aussi un exemple de carré magique formé par des termes en progression géométrique. La progression double par exemple, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, disposée comme ci-dessous (fig. 125), forme un carré tel que le produit obtenu en multipliant les trois termes d'un même rang, ou d'une même diagonale, est 4096, qui est le cube du terme moyen 16.

Ces carrés ont été appelés *magiques*, parce qu'ils étaient en grande vénération parmi les Pythagoriciens. Certains carrés

				=4096
8 ×	256	× 2	=4096	
4 ×	16	× 64	=4096	
128 ×	1	× 32	=4096	
=4096	=4096	=4096		=4096

Fig. 125. — Carré magique formé par les termes d'une progression géométrique. (Page 165.)

magiques, au temps de l'alchimie et de l'astrologie, étaient dédiés aux sept planètes et gravés sur une lame du métal qui sympathisait avec la planète.

Pour donner une idée des combinaisons auxquelles se prête l'étude des carrés magiques il nous suffira d'ajouter que des mathématiciens ont écrit des traités entiers à ce sujet. Frénicle de Bessy, un des plus éminents calculateurs du dix-septième siècle, consacra une partie de sa vie à l'étude des carrés magiques. Il découvrit des règles nouvelles pour les carrés impairs, il en donna aussi pour des carrés pairs, et il trouva le moyen de les varier d'une multitude de manières.

Ainsi pour le carré magique dont la racine est 4, on ne connaissait que 16 arrangements différents. Frénicle de Bessy trouva

880 solutions nouvelles. Un travail considérable de ce savant mathématicien a été publié sous le titre de *Carrés ou Tables magiques* dans les *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, depuis 1666 jusqu'à 1699 (tome V, in-4°).

Les amateurs du *taquin* ou de jeux analogues qui seraient accusés de s'occuper d'un jeu futile et indigne d'esprits sérieux pourront se rappeler les travaux de Frénicle : ils feront mieux encore en les consultant.

Nous n'avons abordé jusqu'ici que la première partie du *taquin*, celle qui est relative aux carrés magiques. Il nous reste à examiner ce jeu sous le rapport du problème auquel il a plus

Tableau A.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	

Tableau B.

4	3	2	1
8	7	6	5
12	11	10	9
	15	14	13

Fig. 126. (Page 166.)

spécialement donné lieu. Nous le ferons avec un excellent mathématicien, M. Piarron de Mondesir, qui a bien voulu nous éclairer sur ce sujet beaucoup plus difficile qu'il semble au premier abord.

Le journal *la Presse illustrée* avait proposé un prix de 500 francs pour la personne qui parviendrait à résoudre le problème suivant :

Jeter les quinze cubes hors de la boîte, les y replacer au hasard, puis, en les permutant ensemble, les ramener dans l'ordre du tableau A (fig. 126).

Or, personne n'a résolu le problème ainsi posé, par la raison toute simple qu'il est impossible, ou plutôt qu'il n'est possible que dans la moitié des cas.

Vous pouvez toujours, en permutant convenablement les cubes, ramener les 12 premiers numéros à leur place; vous pouvez même ramener à sa place le n° 13. Mais, au lieu d'obtenir invariablement, dans la dernière rangée, l'ordre 13, 14, 15, vous obtiendrez une fois sur deux l'ordre 13, 15, 14.

Or, dans ce dernier cas, vous pourrez toujours ramener les cubes dans l'ordre du tableau B, qui est symétrique de A.

Un cas quelconque vous étant proposé, vous pouvez donc le résoudre par l'un des tableaux A ou B.

Or, comment prédire d'avance et sans déplacer un seul cube, si le cas proposé aboutira à A ou à B?

Rien ne vous sera plus facile, si vous voulez bien me prêter un peu d'attention.

Je prends un premier exemple; je jette les cubes hors de la boîte, et je les y établis dans l'ordre représenté figure 127 ;

Je dis alors : 1 occupe la place de 11, 11 celle de 7, 7 celle de 8, 8 celle de 6, 6 celle de 15, 15 celle de 1. (En suivant la figure à l'aide d'un crayon, le lecteur comprendra plus facilement le raisonnement.)

Je formule cette première remarque comme il suit :

1re *série.* — 1. 11. 7. 8. 6. 15. 1. . (6) paire.

Je compte le nombre de points intercalés dans cette première série, j'en trouve 6, et je note (6) entre parenthèses.

J'appelle cette première série paire, par la raison que 6 est un nombre pair.

J'établis par la même formule une deuxième série commençant par le nombre 2 :

2e *série.* — 2. 4. 2. . . . . (2) paire.

Puis une troisième, commençant par 3 :

3e *série.* — 3. 5. 10. 12. 3. . . . (4) paire.

Puis une quatrième et dernière, commençant par 9 ;

4e *série.* — 9. 13. 14. 9. . . . (3) impaire.

J'appelle cette quatrième série impaire, par la raison que 3 est un nombre impair.

J'obtiens ainsi 4 séries, dont le total des points intercalés est

précisément de 15, ce qui doit être, puisqu'aucun cube ne se trouve rétabli à sa place.

Je prends de suite un second exemple (voy. fig. 128) :

J'établis les séries comme dans l'exemple précédent :

1re série. . . .	1. 7. 1	(2)	paire.
2e —	2. 11. 3. 8. 4. 15. 2	(6)	paire.
3e —	5. 12. 13. 5	(3)	impaire.
4e —	9. 14. 10. 9	(3)	impaire.

Le total de ces 4 séries ne donne que 14, par la raison que le cube 6 n'est pas déplacé.

15	4	12	2
3	8	11	7
14	5	1	10
9	13	6	

Fig. 127.

7	15	11	8
13	6	1	3
10	14	2	5
12	9	4	

Fig. 128.

Voici maintenant la règle, pour prédire d'avance, une fois les séries établies, si le cas proposé se ramènera au tableau A ou au tableau B : 1° ne pas tenir compte des cubes non déplacés ; 2° ne pas tenir compte des séries impaires ; 3° ne tenir compte que des séries paires.

Si l'on n'en trouve pas une seule, ou bien si l'on en trouve 2, 4 *ou* 6, *le cas se ramènera au tableau* A. *Si l'on en trouve* 1, 3, 5 *ou* 7, *le cas se ramènera au tableau* B.

Appliquons cette règle très simple aux deux exemples proposés.

Dans le premier nous trouvons 3 séries paires, c'est donc le tableau B.

Dans le second nous trouvons 2 séries paires, c'est donc le tableau A.

Vous voici maintenant en possession d'une règle simple,

rapide et infaillible, qui vous permettra de dire d'avance auquel des deux tableaux A ou B un cas quelconque peut être ramené.

N'allez pas au moins me faire l'injure de penser que je vous ai donné ici deux cas préparés d'avance. Vous pourrez vous convaincre par vous-même de l'exactitude de ma règle, en vous donnant autant de cas que vous voudrez.

Je tiens, toutefois, à vous prévenir que votre vie entière ne

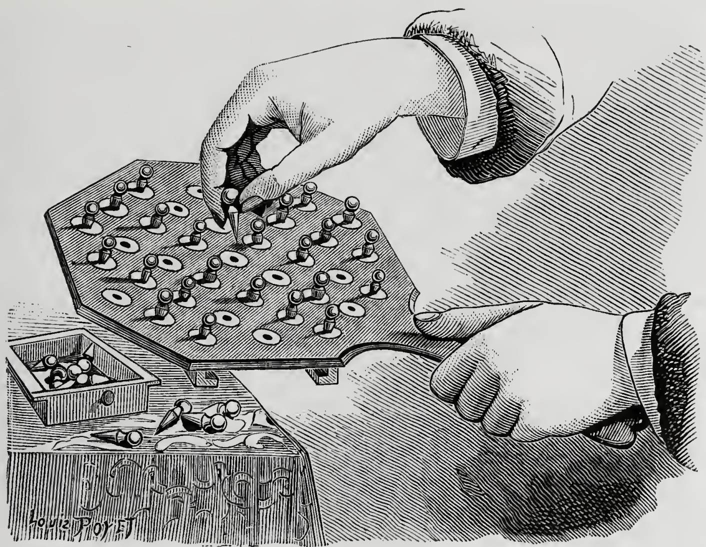


Fig. 129. — Le solitaire à fiches. (Page 170.)

suffirait pas pour vérifier cette règle sur tous les cas possibles. Car, ce que vous ne savez peut-être pas, c'est que le nombre de ces cas possibles est égal au produit :

$$2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 + 11 \times 12 \times 13 \times 14 \times 15$$

c'est-à-dire au chiffre immense de

1 307 674 368 000. Plus de treize cent milliards !

LE SOLITAIRE.

Nos pères ont cultivé souvent avec passion ce jeu aujourd'hui quelque peu délaissé. Cependant beaucoup de personnes connaissent encore aujourd'hui le solitaire, dont l'appareil consiste en une tablette dans laquelle on a pratiqué, soit des trous destinés à recevoir des fiches (fig. 129), soit, mieux encore, des alvéoles destinées à recevoir des billes (fig. 130).

Le solitaire qu'on rencontre habituellement contient 37 cases; mais on joue aussi avec le solitaire à 33 cases, qui ne diffère du premier que par la suppression de 4 cases.

Quelques auteurs ont étudié la théorie de ce jeu, beaucoup plus savant qu'on ne le suppose au premier abord. Le docteur Reiss, M. Charles Buchonnet [1], M. le capitaine d'artillerie Hermary [2], ont publié sur ce sujet des articles scientifiques.

Je me bornerai à indiquer avec M. Piarron de Mondesir deux règles pratiques qui intéresseront à ce jeu élégant.

La première, celle des *équivalents*, vous permettra de jouer un coup quelconque, qui vous sera proposé, et d'aboutir à la *solution finale*. La seconde, celle des *anneaux*, vous permettra d'indiquer d'avance cette solution finale, sans déplacer une seule bille.

Vous connaissez sans doute le mécanisme du jeu, qui consiste à faire passer une bille par-dessus sa voisine, non pas en diagonale, comme au jeu de dames, mais suivant la ligne horizontale ou verticale, et à supprimer la bille franchie.

L'emploi des équivalents consiste à remplacer une bille par deux autres, ainsi que je vais l'expliquer tout d'abord sur un exemple (fig. 131).

Supposons qu'après avoir essayé le problème principal du solitaire à 33 cases, qui consiste, comme vous le savez sans doute,

[1] *Nouvelle Correspondance mathématique*, t. III, p. 234.

[2] *Compte rendu de l'Association française pour l'avancement des sciences.* Congrès de Montpellier en 1879, p. 248.

à remplir toutes les cases à l'exception de la case centrale, et à faire disparaître successivement toutes les billes, en n'en laissant qu'une seule au milieu, supposons, dis-je, qu'un joueur inexpérimenté soit arrivé au système irréductible de 5 billes sur les cases 4, 11, 15, 28 et 30.

Pour rendre le coup soluble, et pour retrouver la solution finale, je remplace la bille 11 par deux équivalents, 9 et 10, la

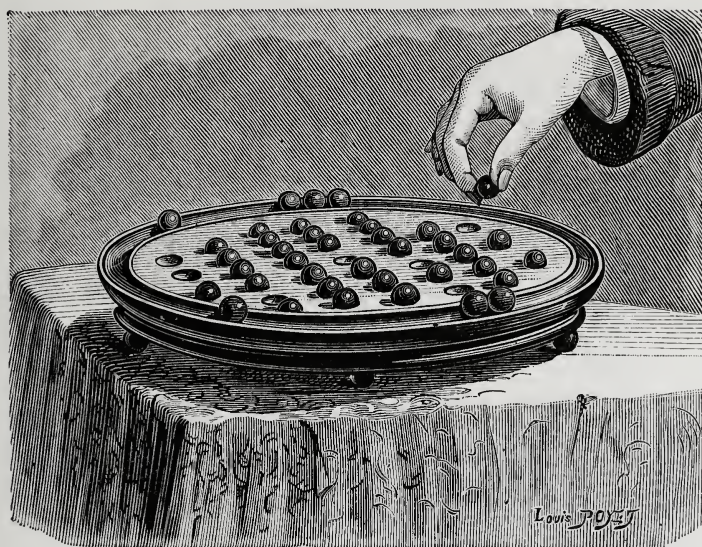


Fig. 130. — Le solitaire à billes. (Page 170.)

bille 28 par deux autres, 23 et 16, et la bille 30 par deux autres, 25 et 18. Ces substitutions ne changent pas le coup, puisque je puis le reconstituer en reprenant 10 avec 9, 23 avec 16, et 25 avec 18. Mais il se trouve qu'en procédant ainsi, j'ai substitué au système irréductible de 5 billes un nouveau système composé des 8 billes, marquées d'un trait sur la figure, et qui se résout immédiatement par une seule bille au centre, laquelle constitue la solution finale.

Vous comprenez maintenant, qu'avec la règle des équivalents

vous pourrez toujours concentrer le coup qui vous sera proposé, le rendre soluble, dussiez-vous employer les équivalents à diverses reprises, et aboutir à la solution finale, qui sera nécessairement : soit une seule bille, soit un *couple* de deux billes placées diagonalement tel que 9-17, 25-29, etc., soit un système de 3 billes continues et en ligne droite, tel que 9-16-23, 4-5-6, etc., c'est-à-dire une *tierce*.

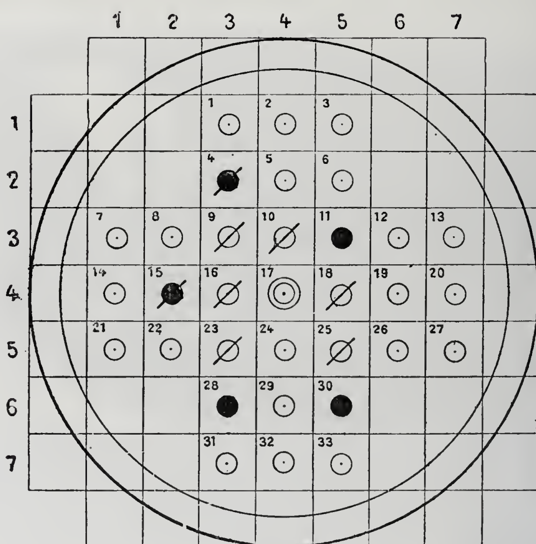


Fig. 131. (Page 170.)

Il n'y a en effet, sur un solitaire quelconque, que trois solutions finales possibles d'un coup quelconque : *la bille unique*, *le couple* et *la tierce*.

Ce premier point établi, je vais maintenant vous indiquer quatre transformations très faciles à effectuer, et qui découlent de la règle des équivalents :

1° Remplacement de deux billes, situées sur une même rangée et séparées par une case vide, par une seule bille placée sur cette case. Ainsi, dans la case 21, je puis remplacer les deux billes 23 et 25 par une seule en 24.

2° Suppression des tierces. Ainsi je puis supprimer la tierce 9-16-23.

3° On nomme *cases correspondantes* deux cases situées sur une même rangée et séparées par deux alvéoles.

Si deux cases correspondantes sont remplies, je puis supprimer les deux billes qui les occupent. Ainsi je puis supprimer 4 et 23.

4° Je puis transporter une bille sur l'une de ses cases correspondantes, si celle-ci est vide. Ainsi je puis transporter la bille 10 et 29.

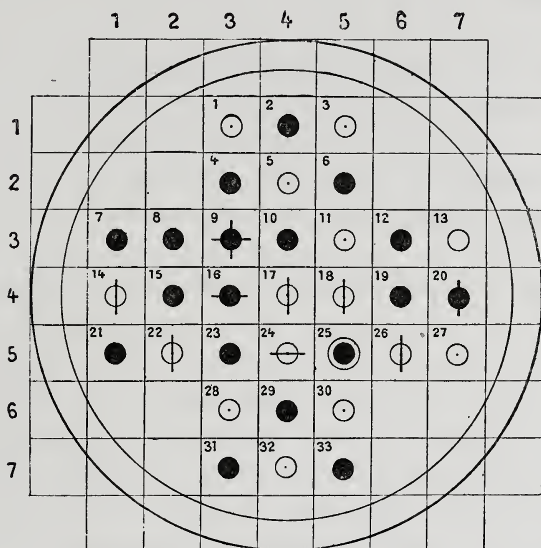


Fig. 132. (Page 174.)

Ce sont ces quatre transformations que l'on peut réaliser avec des anneaux, sans déplacer les billes, et qui permettent de ramener le coup proposé à un système de trois anneaux au plus, compris dans le carré central du solitaire.

Pour appliquer la règle des anneaux, il suffit d'en avoir 7 d'un diamètre un peu plus grand que celui de la bille, ce qui permettra à l'anneau de franchir la bille et de venir couronner l'alvéole.

Je vais l'appliquer à un exemple :

Solitaire à 33 *cases* (fig. 132). — *Solution finale de la bille unique.*

1re rangée verticale. Les deux cases 7 et 21 étant remplies, et la case intermédiaire 14 étant vide, je place 1 anneau sur 14.

2e rangée verticale. 8 prend 15 et vient en 22 ; je place 1 anneau sur 22.

3e rangée verticale. Je supprime les billes correspondantes 4-23 et 16-31 ; il me reste une seule bille en 9. Je place 1 anneau sur 9.

4e rangée verticale. Je supprime les deux correspondantes 10-29, je transporte 2 en 17, et je place 1 anneau sur 17.

5e rangée verticale. Je supprime les deux correspondantes 6-25, je transporte 33 en 18, et je place 1 anneau sur 18.

6e rangée verticale. 12 prenant 19 et venant en 26, je place 1 anneau sur 26.

7e rangée verticale. 20 étant seul occupé, je place 1 anneau sur 20.

(Il est bien entendu que les opérations que je viens de décrire doivent se faire mentalement sans déplacer une seule bille.)

Le coup proposé se trouve ainsi réduit au système des 7 anneaux placés sur les 7 cases 14, 22, 9, 17, 10, 26 et 20, lesquels sont indiqués sur la figure par un trait vertical et se trouvent tous compris dans les trois rangées horizontales nos 3, 4 et 5.

Je vais maintenant opérer sur ces trois rangées horizontales, comme je viens de le faire pour les 8 rangées verticales, en considérant les anneaux comme des billes.

3e rangée horizontale. Je trouve et je laisse 1 anneau sur 9.

4e rangée horizontale. Les deux anneaux correspondants 17-20 se détruisant, je les supprime, je transporte l'anneau 14 en 17, je prends 17 avec 18 qui vient en 16, et je laisse 1 anneau sur 16.

5e rangée horizontale. Je transporte l'anneau 26 en 23, je prends 23 avec 22 qui vient en 24 et je laisse 1 anneau sur 24.

(Il est bien entendu que les opérations que je viens de décrire, et qui portent sur les anneaux, doivent s'effectuer réellement, ce qui est possible sans déplacer une seule bille.)

Le coup proposé se trouve ainsi réduit au système des trois anneaux 9, 16 et 24, tous trois compris dans le carré central et y occupant une horizontale différente. Ils sont désignés sur la figure par un trait horizontal.

Il est facile de voir maintenant que l'anneau 9 prend successivement les anneaux 16 et 24 et vient en 25. Il ne me reste plus alors qu'un seul anneau sur 25 indiqué par un cercle concentrique, et qui constitue la solution finale de la *bille unique*.

Vous pouvez jouer le coup, en appliquant la règle des équivalents, et vous arriverez nécessairement à une seule bille en 25.

Vous voici maintenant, si je me suis bien fait comprendre par cet exemple, en mesure, non seulement de faire aboutir un coup quelconque à sa solution finale, en appliquant la règle des équivalents, mais encore de prédire d'avance cette solution finale, en appliquant la règle des anneaux et sans déranger une seule bille. Avec un peu d'expérience, vous pourrez même vous passer des anneaux.

CHAPITRE V

LA CHIMIE SANS LABORATOIRE

Nous avons précédemment montré la possibilité de faire un cours de physique sans appareils ; nous allons entreprendre d'exécuter quelques expériences de chimie, sans laboratoire, seulement à l'aide d'un petit nombre d'appareils simples et peu dispendieux. La préparation des gaz tels que l'hydrogène, l'acide carbonique, l'oxygène, est très facile à pratiquer à peu de frais.

Nous en donnerons un exemple pour la production de l'acide carbonique, que nous allons montrer à réaliser sous forme d'une très jolie expérience, se rapportant en même temps à la densité du gaz et à l'équilibre des corps flottants.

On prend un vase de verre un peu large, telle qu'une cloche à melons de moyenne grandeur, que l'on place, l'ouverture en haut, sur un trépied en gros fil de fer, ou de toute autre manière.

Au fond de cette cloche, on dépose un mélange formé de parties égales de bicarbonate de soude et d'acide tartrique, réduits en poudre, que l'on répartit en couche de faible épaisseur. — La quantité de poudre à employer dépend de la grandeur de la cloche et de l'épaisseur de l'atmosphère d'acide carbonique que l'on veut y produire. — On se basera sur cette donnée, que le bicarbonate de soude renferme la moitié de son poids d'acide carbonique, et, par suite, qu'il faut décomposer 4 grammes

de bicarbonate pour produire un litre de gaz acide carbonique.

Sur l'ouverture de la cloche, on dépose une feuille de carton de grandeur convenable pour la couvrir exactement. — Le centre de ce carton est percé d'une petite ouverture circulaire, destinée à laisser passer un tube de verre assez long pour reposer sur le

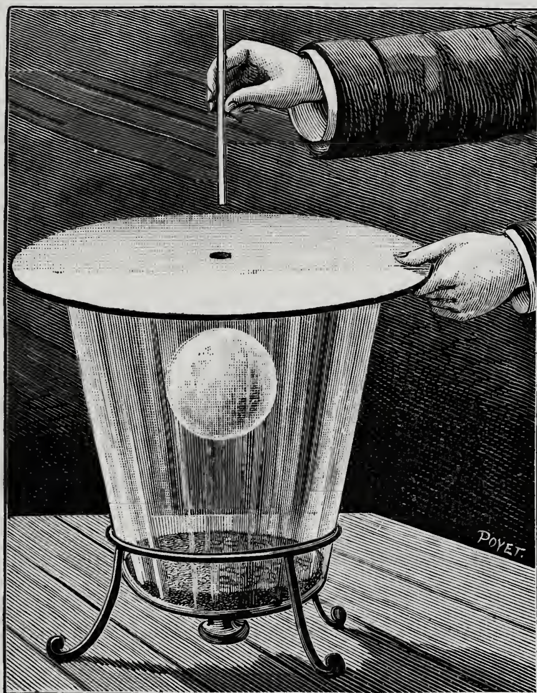


Fig. 133. — Bulle de savon gonflée d'air, flottant à la surface d'une couche de gaz acide carbonique. (Page 176.)

fond de la cloche, tout en dépassant le carton par sa partie extérieure. — C'est par ce tube et au moyen d'un petit entonnoir que l'on fait arriver au fond de la cloche, *de petites quantités d'eau*, que l'on verse successivement, afin que l'effervescence ne soit pas trop tumultueuse, et jusqu'à ce que la poudre soit entièrement immergée. Lorsque l'acide carbonique cesse de se dégager, on retire le tube de verre.

On a soin de préparer à l'avance, une bonne eau savonneuse ou, ce qui est préférable, le liquide glycérique de M. Plateau[1]. — Avec l'un de ces liquides, on souffle des bulles de 10 centimètres de diamétre, à peu près, à l'extrémité d'un tube de terre faiblement évasé. — Ce tube doit être tenu vertical en amenant la bulle au-dessus du carton que l'on retire avec précaution, en le faisant glisser dans son plan, puis on détache la bulle de façon à la faire tomber suivant l'axe de la cloche. — Si cette chute a lieu d'une certaine hauteur, la bulle rebondit comme si elle était repoussée par un ressort : elle redescend, remonte plusieurs fois, en un mot, elle exécute des oscillations verticales, puis devient immobile. — C'est à ce moment qu'il convient de replacer le carton, pour ne produire aucune agitation dans l'intérieur de la cloche (fig. 133).

La bulle de savon ressemble alors à un petit aérostat en équilibre au sein de l'atmosphère de la cloche, mais en réalité, elle flotte sur la couche d'acide carbonique qui est invisible.

Après l'acide carbonique, étudions quelques autres substances intéressantes.

Le gaz ammoniac, combiné avec les éléments de l'eau, semble être analogue à un oxyde métallique qui renfermerait un radical métallique, l'*ammonium*. Ce métal hypothétique composé, peut en quelque sorte être entrevu, puisqu'il est possible de l'amalgamer avec le mercure en opérant de la manière suivante.

On prend un mortier de porcelaine, dans lequel on verse une petite quantité de mercure ; on découpe en minces lamelles du sodium que l'on jette sur le mercure ; en agitant avec le pilon, le mélange fait entendre un décrépitement assez violent accompagné d'une flamme qui signale par sa présence l'union du mer-

[1] Voici la manière de préparer le liquide glycérique de M. Plateau : Faire dissoudre à une douce chaleur une partie de savon de Marseille dans 40 parties d'eau distillée ; après avoir laissé refroidir la solution, filtrer et ajouter, dans trois volumes du liquide, un volume de glycérine. Après vingt-quatre heures de repos filtrer à nouveau et ajouter un autre volume de glycérine. Les bulles de savon faites avec ce liquide se maintiennent des heures entières sans crever.

cure et du sodium, la formation d'un amalgame de sodium. Si l'on jette cet amalgame de sodium dans un tube de verre effilé contenant une solution concentrée de chlorhydrate d'ammoniaque dans l'eau, on voit le mercure se gonfler d'une manière extraordinaire, déborder sous forme d'un magma métallique très abondant, et jaillir à l'extrémité du tube, devenu trop petit pour le contenir (fig. 134). D'après l'hypothèse dont nous entretenons nos lecteurs, l'*ammonium*, le radical qui existerait dans les sels ammoniacaux se serait amalgamé dans cette expérience avec le mercure, en chassant le sodium qu'on y avait préalablement combiné ; l'ammonium ainsi uni au mercure ne tarde pas à se décomposer en gaz ammoniac et en hydrogène, et le mercure reprend sa forme habituelle.

Parmi les sels ammoniacaux, le *phosphate d'ammoniaque* est précieux par la propriété qu'il possède de rendre incombustibles les étoffes les plus légères, telles que gaze et mousseline. Trempez de la mousseline dans une dissolution de phosphate d'ammoniaque et faites-la sécher au contact de l'air ; cela fait, il vous sera impossible d'enflammer cette étoffe, qui aurait pris feu bien facilement auparavant ; vous pourrez la carboniser, mais c'est en vain que vous tenterez de la faire brûler avec flamme. Il serait à souhaiter que cette propriété remarquable fût mise à profit pour les robes de bal, qui ont si souvent causé de terribles accidents par leur inflammation. Nul danger d'incendie avec une robe imbibée de phosphate d'ammoniaque, sel très usité, qui se vend à bas prix chez tous les fabricants de produits chimiques.

Si vous voulez boire frais en été, les sels ammoniacaux vous en donneront le moyen : le *nitrate d'ammoniaque* mélangé avec son poids d'eau produit un abaissement de température de 24 degrés centésimaux, et peut ainsi servir à fabriquer facilement de la glace. L'*alcali volatil*, qui préserve si bien des inconvénients des piqûres d'insectes, est une dissolution de gaz ammoniac dans l'eau ; le *sel volatil d'Angleterre*, dont l'odeur piquante ranime ceux qui se trouvent mal, est un carbonate d'ammoniaque.

On voit souvent chez les pharmaciens de grands bocaux en

verre dont les parois intérieures sont hérissées de cristaux blancs, transparents et soyeux, du plus bel aspect, qui se forment au-dessus d'une poudre rouge placée au fond du vase. Ces cristaux sont le résultat d'une combinaison du cyanogène avec l'iode.

Rien n'est plus facile que la préparation de l'*iodure de cyanogène*, corps très volatil qui a une grande tendance à prendre une forme cristalline définie. Il suffit de broyer dans un mortier un mélange formé de 50 grammes de cyanure de mercure et de 190 grammes d'iode ; par l'action prolongée du pilon, la poudre, d'abord brunâtre, prend une nuance rouge-vermillon du plus vif éclat. Le cyanogène s'empare de l'iode, et le résultat de la combinaison se transforme en vapeurs avec une grande rapidité. Si vous emprisonnez cette poudre rouge au fond d'un vase en verre bouché, les vapeurs d'iodure de cyanogène ne tardent pas à se condenser, en donnant presque immédiatement naissance à de beaux cristaux, qui atteignent souvent une grande longueur (fig. 135.)

Le cyanogène forme, avec le soufre, un corps remarquable, le *sulfocyanogène*, sur les propriétés duquel nous ne pourrions pas insister sans dépasser les limites de notre cadre ; nous nous bornerons à signaler une de ses combinaisons, bien connue aujourd'hui grâce aux singulières propriétés qu'elle possède. Nous voulons parler du *sulfocyanure* de mercure, avec lequel on prépare ces petits cônes combustibles, généralement désignés sous le nom pompeux de *serpents de Pharaon.*

Pour obtenir le produit en question, on verse du sulfocyanure de potassium dans une dissolution étendue de nitrate acide de mercure ; il se forme un abondant précipité de sulfocyanure de mercure. C'est une poudre blanche, combustible, qui, après avoir été recueillie sur un filtre, doit être transformée en une pâte ferme par une trituration dans de l'eau gommée. La pâte, additionnée d'une petite quantité de nitrate de potasse puis façonnée en cônes ou en cylindres de 3 centimètres environ de hauteur est complètement desséchée au bain-marie. Une fois sec, l'*œuf* ainsi obtenu est prêt à éclore sous la simple action d'une allu-

mette enflammée, et le phénomène se produit immédiatement. Le sulfocyanure se bousoufle peu à peu, le cylindre s'allonge à vue d'œil, et se transforme en une matière jaunâtre qui se dilate, s'étend jusqu'à atteindre une longueur de 50 à 60 centimètres. On dirait un véritable serpent, qui prend instantanément naissance pour se dérouler en replis tortueux et s'échapper de l'étroite prison où il était resserré (fig. 136).

Le résidu est en partie formé de cyanure de mercure et de

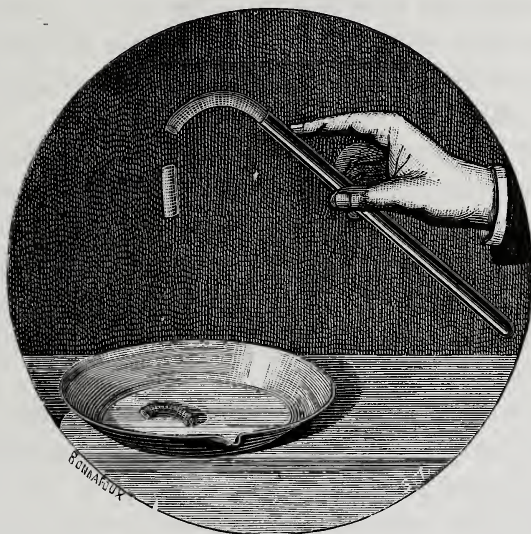


Fig. 134. — Expérience de l'ammonium. (Page 178.

paracyanogène : il constitue un produit vénéneux qui doit être jeté ou brûlé. Il est friable et tombe facilement en poussière sous le seul contact des doigts. Pendant la décomposition du sulfocyanure de mercure, il se dégage de grandes quantités d'acide sulfureux, et il est à regretter que le serpent de Pharaon signale son apparition par une odeur suffocante très désagréable.

Après ces quelques expériences préliminaires, nous essayerons de faire comprendre l'intérêt que peut offrir l'étude de la chimie quand elle s'adresse aux substances les plus usuelles.

Nous en prendrons comme exemple l'histoire de quelques pincées de sel.

On sait que le *sel de cuisine* ou *sel marin*, est blanc ou grisâtre selon son degré de pureté, qu'il est doué d'une saveur particulière, soluble dans l'eau, et qu'il fait entendre, quand on le jette sur des charbons ardents, un bruit particulier, appelé *décrépitement.* Mais si l'on n'ignore pas quelles sont ses principales propriétés physiques, on n'est généralement pas aussi instruit sur sa nature chimique, sur sa composition élémentaire.

Le sel de cuisine renferme un métal uni à un gaz verdâtre doué d'une odeur suffocante : ce métal est le *sodium*, ce gaz est le *chlore.* Le nom scientifique de la substance qui figure sur toutes nos tables, est *chlorure de sodium*[1].

Le métal que contient le sel ordinaire ne ressemble en rien aux métaux proprement dits; il est blanc comme l'argent, mais il se ternit immédiatement au contact de l'air, et s'unit avec l'oxygène en se transformant en *oxyde de sodium*, ou *soude caustique.* Pour conserver ce singulier métal, il est nécessaire de le soustraire à l'action atmosphérique, et de l'emprisonner dans un flacon rempli d'huile de naphte.

Le sodium est mou, et on peut, armé d'une paire de ciseaux, le découper comme on ferait d'une boulette de mie de pain pétrie entre les doigts.

Il est plus léger que l'eau, et, quand on le jette dans un vase plein de ce liquide, il y surnage comme un morceau de liège ; seulement il s'agite, et prend la forme d'une petite sphère bril-

[1] Il en est de même pour un grand nombre d'autres produits aussi vulgaires, tels que la terre glaise, la pierre à bâtir, le grès, etc., dont la chimie a su révéler la constitution. L'argile ou terre glaise, l'ardoise, le schiste, renferment un métal devenu précieux grâce à ses applications industrielles, l'*aluminium*; la pierre à bâtir, les moellons qui encombrent de toutes parts notre capitale, sont formés par un métal uni à du charbon et à de l'oxygène, le *calcium*; le grès qui constitue les pavés de nos rues est composé de *silicium*, corps métallique uni à de l'oxygène; et le sulfate de magnésie, qui entre dans la composition de la limonade purgative, renferme encore un métal, le *magnésium*.

lante ; une violente effervescence se produit sur son passage, car il décompose l'eau à la température ordinaire par son seul contact. La petite boule métallique diminue à vue d'œil, elle ne tarde pas à disparaître complètement, et souvent même elle s'enflamme quand elle reste quelques moments stationnaire (fig. 137).

Cette expérience remarquable est facile à exécuter. Le sodium est aujourd'hui un produit très abondant et on peut se le procurer chez tous les fabricants de produits chimiques.

On explique d'une manière très simple la combustion du sodium dans l'eau. L'eau, comme on le sait, est formée d'hydrogène et d'oxygène : le sodium, en raison de sa grande affinité pour ce dernier gaz, s'en empare, et se transforme en un oxyde très soluble ; l'hydrogène, mis en liberté, se dégage, comme on peut le constater en approchant du vase où brûle le métal, une allumette en ignition qui enflamme le gaz combustible.

L'oxyde de sodium est très avide d'eau ; il se combine avec ce liquide et en absorbe de grandes quantités ; c'est un produit solide, blanc, qui brûle et cautérise la peau. Il est *alcalin*, il ramène au bleu le tournesol rougi par les acides.

Le sodium, qui est, comme nous l'avons dit, très avide d'oxygène, se combine facilement aussi avec le chlore. Plongé dans un flacon rempli de ce dernier gaz, il se transforme en une matière solide qui est le *sel marin*. Si le chlore se trouve en excès, une partie du gaz reste à l'état libre, car les corps simples ne s'unissent pas entre eux suivant des rapports indéterminés ; ils se combinent, au contraire, dans des proportions bien définies, et $35^{gr},5$ de chlore sec s'empareront toujours d'une même quantité de sodium égale à 23 grammes.

Un gramme de sel de cuisine est donc formé de $0^{gr},606$ de chlore et de $0^{gr},394$ de sodium.

A côté du sel marin il existe un grand nombre de sels différents qui peuvent devenir l'objet d'expériences curieuses.

Nous savons que la soude caustique ou oxyde de sodium est un produit alcalin, doué de propriétés très énergiques ; il brûle la peau, et détruit les matières organiques.

L'acide sulfurique est doué de propriétés non moins énergiques : une goutte répandue sur la main produit une vive douleur et occasionne une forte brûlure ; un morceau de bois plongé dans cet acide, est presque immédiatement carbonisé.

Quand on mélange 49 grammes d'acide sulfurique et 31 grammes de soude caustique, il se produit une réaction des plus intenses, accompagnée d'une élévation de température considérable ; après le refroidissement de la masse, on a une substance



Fig. 135. — Iodure de cyanogène. (Page 180.)

qui peut être maniée impunément : l'acide et l'alcali se sont combinés, et leurs propriétés ont été réciproquement détruites. Ils ont donné naissance à un *sel* qui est du *sulfate de soude.* Le résultat de leur union n'exerce aucune action sur le tournesol ; il ne ressemble en rien aux corps qui lui ont donné naissance.

On connaît en chimie un nombre presque infini de sels qui résultent ainsi de la combinaison d'un acide avec un alcali ou *base.* Quelques-uns d'entre eux, comme le sulfate de cuivre ou le

chromate de potasse, sont colorés; d'autres, comme le sulfate de soude, sont incolores.

Ce dernier produit, comme la plupart des sels, peut affecter une forme cristalline; si on le dissout dans l'eau chaude et si

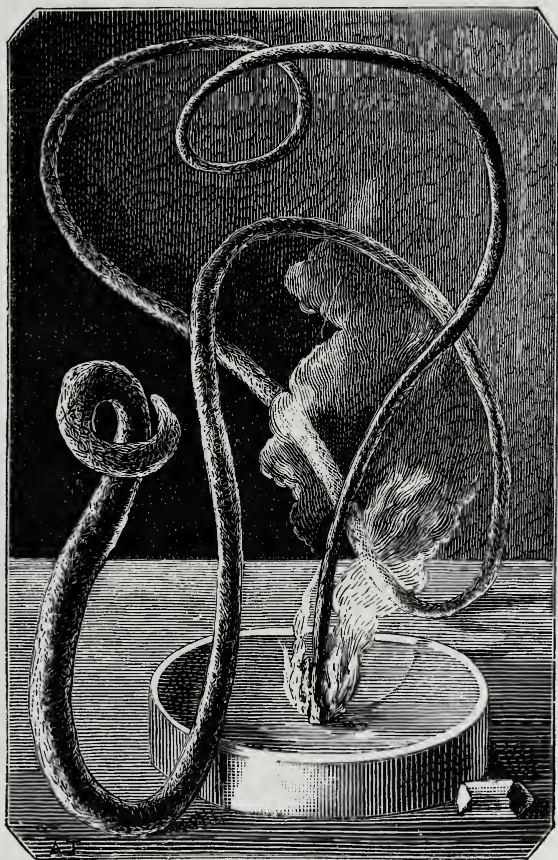


Fig. 136. — Serpent de Pharaon. (Page 180.)

on abandonne la solution au repos, on ne tarde pas à voir se déposer des prismes transparents du plus remarquable aspect. Aussi ce produit, découvert par Glauber, s'appelait-il autrefois *sel admirable* ou *sel de Glauber*.

Le sulfate de soude est très soluble dans l'eau, et c'est à la température de 33 degrés que l'eau peut en dissoudre dans la plus grande proportion. Si l'on verse une couche d'huile sur une dissolution saturée de sel de Glauber, et qu'on laisse reposer la liqueur sans l'agiter, elle n'abandonnera pas de cristaux; mais si on fait descendre une baguette de verre à travers la couche huileuse jusqu'au contact de la dissolution, la cristallisation sera instantanée[1] (fig. 138).

Ce phénomène singulier devient encore plus saisissant quand on fait pénétrer la dissolution chaude et concentrée dans un tube de verre effilé que l'on ferme à la lampe dans sa partie étran-

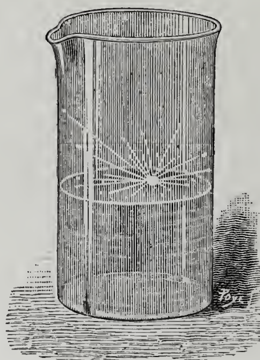


Fig. 137. — Combustion du sodium dans l'eau. (Page 182.)

glée après avoir chassé l'air intérieur par l'ébullition du liquide (fig. 139).

Une fois le tube bouché, les cristaux de sulfate de soude ne se

[1] Voici quelques indications pratiques pour bien réussir ces expériences. On prépare la solution au moyen de sulfate de soude cristallisé, 200 grammes, et eau distillée 100 grammes. On verse la solution ainsi obtenue à chaud, dans une fiole, à l'aide d'un tube à entonnoir. On rechauffe la fiole sur le fourneau : quand la vapeur commence à sortir, on la couvre avec une petite capsule de porcelaine. En laissant rentrer l'air, après refroidissement, la cristallisation a lieu : si l'on a versé sur la solution une couche d'huile, le contact d'une baguette de verre opère la cristallisation de la masse. Si la baguette a été chauffée, la cristallisation n'a plus lieu.

formeront pas, même à la température de zéro; cependant le sel, étant moins soluble à froid qu'à chaud, se trouve dans la liqueur dans une proportion dix fois supérieure à celle qu'elle pourrait contenir dans les conditions ordinaires. Si l'on brise la pointe du tube, le sel cristallise immédiatement.

Nous décrirons une autre expérience peu connue et remarquable qui manifeste d'une façon particulière les cristallisations instantanées. Elle est mise à exécution au Conservatoire des arts et métiers, dans le cours de M. Peligot.

On dissout 150 parties en poids d'hyposulfite de soude dans



Fig. 138. — Flacon contenant une dissolution sursaturée de sulfate de soude. — Sa cristallisation est montrée dans la figure de droite. (Page 186.)

15 parties d'eau, on verse lentement la dissolution dans une éprouvette à pied, préalablement chauffée à l'aide d'eau bouillante, de façon à remplir le vase à moitié environ. On a dissous, d'autre part, 100 parties en poids d'acétate de soude dans 15 parties d'eau bouillante. On verse lentement cette solution sur la première, de façon à ce qu'elle forme une couche supérieure et à ce qu'elle ne se mélange pas avec celle-ci. Les deux solutions sont surmontées d'une petite couche d'eau bouillante, que nous ne représentons pas sur notre figure 140. On laisse refroidir l'éprouvette lentement et au repos.

Quand le tout est froid, on a deux solutions sursaturées d'hyposulfite de soude et d'acétate de soude superposées.

On descend dans l'éprouvette un fil à l'extrémité duquel est fixé un petit cristal d'hyposulfite de soude; le cristal traverse la solution d'acétate sans la troubler, mais à peine a-t-il pénétré

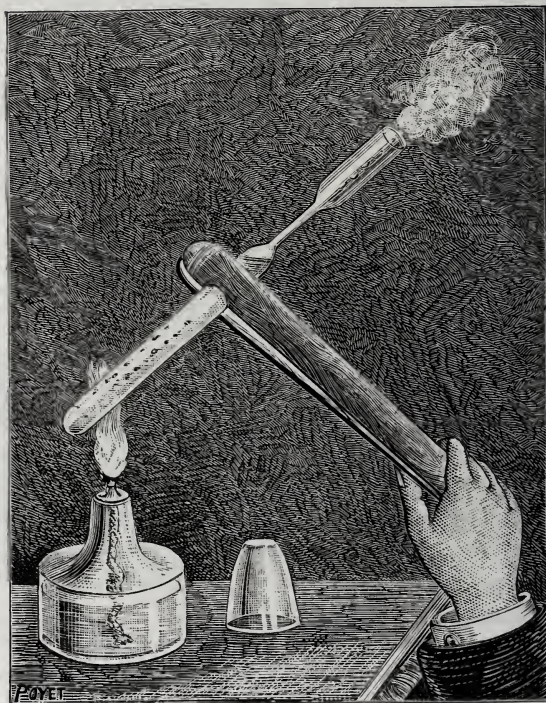


Fig. 139. — Préparation d'une dissolution sursaturée de sulfate de soude. (Page 186.)

dans la solution d'hyposulfite inférieure que le sel cristallise instantanément (Voy. l'éprouvette à gauche de la figure 140). Quand l'hyposulfite est pris en masse, on descend dans la solution supérieure un cristal d'acétate de soude suspendu à un autre fil; ce sel cristallise alors à son tour (Voy. la même éprouvette, à droite de la figure 140). L'expérience réussit même en trempant dans la dissolution un fil de laiton au moyen duquel

on a préalablement *touché* l'hyposulfite de soude. On peut opérer d'une manière analogue avec l'acétate et le sulfate de soude.

Cette expérience, bien réussie, est une des plus remarquables que l'on puisse exécuter sur les cristallisations instantanées.



Fig. 140. — Expérience de cristallisation instantanée. (Page 187.)

L'apparition successive des cristaux d'hyposulfite de soude qui prennent la forme de grands prismes rhomboïdaux, terminés aux deux extrémités par une face oblique, et des cristaux d'acétate de soude, qui offrent l'aspect de prismes rhomboïdaux obliques, ne manque pas de frapper l'attention et d'étonner ceux qui ne sont pas initiés à ces sortes d'expérimentations.

Une autre cristallisation instantanée très remarquable est celle de l'alun. Si l'on abandonne à un repos absolu une solution sur-

saturée de ce sel, elle se refroidit en restant limpide et claire. Quand elle est froide, si on y plonge un petit cristal octaédrique d'alun suspendu à l'extrémité d'un fil, on voit la cristallisation se faire subitement, sur les faces de ce petit cristal ; il s'accroît rapidement, grossit à vue d'œil, jusqu'à former un octaèdre qui remplit le vase tout entier.

MÉTAUX USUELS ET MÉTAUX PRÉCIEUX.

Que de malades ont absorbé de la *magnésie blanche* sans se douter que cette poudre renfermait un métal presque aussi blanc que l'argent, malléable, et capable de brûler avec une lumière tellement intense qu'elle peut rivaliser d'éclat avec la lumière électrique ! Si quelqu'un de nos lecteurs veut lui-même préparer le magnésium, voici la méthode qu'il devra suivre : il achètera de la magnésie blanche chez un pharmacien et il traitera cette substance, après l'avoir calcinée, par l'acide chlorhydrique et le chlorhydrate d'ammoniaque ; il obtiendra une solution limpide qui, par l'évaporation sous l'action de la chaleur, fournira un chlorure double hydraté et cristallisé. Ce chlorure, chauffé au rouge dans un creuset de terre, laissera en résidu un produit nacré formé de lamelles blanches et micacées : le chlorure du magnésium anhydre. Si l'on mélange ensuite 600 grammes de ce chlorure de magnésium avec 100 grammes chlorure de sodium ou sel de cuisine, et autant de fluorure de calcium et de sodium métallique en petits fragments, si l'on jette le mélange ainsi formé dans un creuset de terre chauffé au rouge, si l'on continue à chauffer pendant un quart d'heure environ, en maintenant le creuset formé par un couvercle de terre ; enfin si, la réaction terminée, on verse la matière devenue fluide sur une pelle de terre, on obtiendra, au milieu d'une scorie, 45 grammes de magnésium métallique.

Le métal ainsi obtenu est impur, et, pour le débarrasser des substances étrangères qui le souillent, on le chauffe au rouge dans un tube de charbon traversé par un courant d'hydrogène.

Le magnésium se produit aujourd'hui en grande abondance, et il est facile de s'en procurer à vil prix, en fils, en lames ou en poudre. C'est un métal doué d'une très grande affinité pour l'oxygène, et il suffit de le plonger dans la flamme d'une bougie pour en déterminer la combustion ; il brûle avec un éclat que l'œil peut à peine supporter, et il se transforme en une poudre blanche qui est l'oxyde de magnésium ou magnésie. La combustion est encore plus vive dans l'oxygène, et la poudre de magnésium jetée dans un bocal rempli de ce gaz produit une véritable pluie de feu du plus bel effet. Pour donner une idée du pouvoir éclairant du magnésiun, il suffit de dire qu'un fil de ce métal ayant 29 centièmes de millimètre de diamètre produit par combustion une lumière égale à celle de 74 bougies de 100 grammes chacune.

L'humble argile des champs, la terre glaise qui est la matière de nos poteries, est aussi la source de l'aluminium, de ce métal brillant, sonore comme le cristal, malléable comme l'argent, inaltérable comme l'or. Quand on traite l'argile par l'acide sulfurique et le chlorure de potassium, on obtient l'*alun*, qui est un sulfate d'alumine et de potasse. L'alun est un sel incolore, qui cristallise au sein de l'eau en beaux octaèdres d'une régularité admirable. La figure 141 représente un groupe de cristaux d'alun que l'on voit aux galeries du Conservatoire des arts et métiers. Ce sel est très employé dans la teinture pour l'impression des tissus; il sert encore pour le collage des papiers et la clarification des suifs. Les médecins, enfin, l'utilisent comme matière astringente et caustique. Quand on soumet l'alun à l'action de la chaleur, dans un creuset de terre, il perd l'eau de cristallisation qu'il renferme, et il se boursoufle singulièrement en débordant du vase dans lequel on le calcine (fig. 142).

Le fer, le plus important des métaux usuels, a une grande tendance à s'unir avec l'oxygène, et on sait que, lorsqu'un morceau de ce métal est abandonné au contact de l'air humide, il se recouvre d'une couche rougeâtre. Dans cette expérience bien connue de la formation de la rouille, le fer s'oxyde peu à peu,

sans que sa température s'élève; mais cette combinaison du fer avec l'oxygène s'effectue bien plus rapidement sous l'influence de la chaleur. Si, par exemple, on fait rougir au feu un clou fixé à un fil de fer, et qu'on lui imprime un mouvement de rotation, comme, avec une fronde, on voit jaillir du métal incandescent mille étincelles lumineuses dues à la combinaison du fer avec l'oxygène, à la formation d'un oxyde. Le fer très divisé brûle spontanément au contact de l'air, et on a depuis



Fig. 141. — Groupes de cristaux d'alun. (Page 191.)

bien des siècles utilisé cette propriété en *battant le briquet*, c'est-à-dire en détachant par le choc, sur un silex, de petits morceaux de fer qui s'enflamment, sous l'influence de la chaleur produite par le frottement, et qui peuvent mettre le feu à une substance combustible telle que l'amadou.

On peut préparer du fer tellement divisé qu'il s'enflamme à la température ordinaire par un simple contact avec l'air. Pour l'amener à cet état d'extrême ténuité, on réduit son oxalate par l'hydrogène. On dispose un appareil à hydrogène, comme l'indique la figure 143; on fait passer le gaz produit en A à travers

un tube dessiccateur B, et on le fait arriver dans une ampoule de verre C, où l'on a placé de l'oxalate de fer. Ce dernier sel,



Fig. 142. — Alun calciné. (Page 191.)

sous la double influence de l'hydrogène et de la chaleur, se réduit en fer métallique qui prend l'aspect d'une poudre

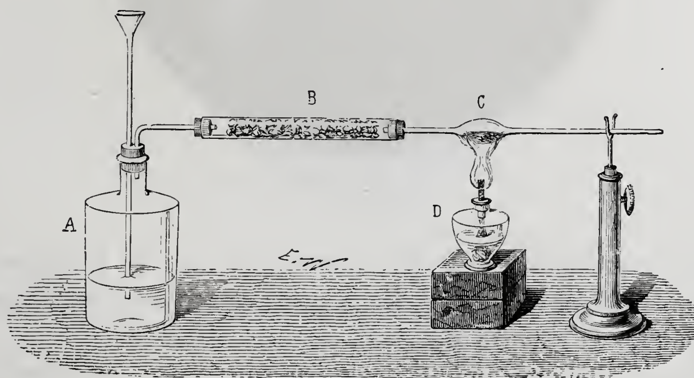


Fig. 143. — Préparation du fer pyrophorique. (Page 192.)

noire impalpable. Quand l'expérience est terminée, on ferme l'ampoule à la lampe, et le fer contenu, ainsi protégé du contact de l'air, peut se conserver indéfiniment ; mais si on le pro-

jette dans l'air en brisant la pointe de l'ampoule (fig. 144), il y brûle aussitôt en produisant une véritable pluie de feu d'un bel effet[1]. Le fer ainsi préparé est connu sous le nom de *fer pyrophorique.*

Le fer est très vivement attaqué par la plupart des acides; quand on verse sur des clous de l'acide nitrique ordinaire, des torrents de vapeurs nitreuses rouges se dégagent, et le fer oxydé se dissout dans le liquide à l'état d'azotate de fer. Cette expé-



Fig. 144. — Fer pyrophorique. (Page 194.)

rience, très facile à exécuter, donne une idée de l'énergie de certaines actions chimiques. Nous avons essayé d'en représenter l'aspect par la gravure (fig. 145).

L'acide nitrique fumant n'agit pas sur le fer, et l'empêche même par son contact d'être attaqué par l'acide nitrique ordinaire ; cette propriété a donné naissance à une très remarquable expérience du *fer passif.* Voici en quoi elle consiste : on place

[1] L'expérience est beaucoup plus brillante en faisant tomber le fer pyrophorique dans un flacon rempli de gaz oxygène.

quelques clous dans un verre, on y verse de l'acide nitrique fumant qui n'exerce aucune action; on décante l'acide fumant et on le remplace par de l'acide nitrique ordinaire, qui n'agit plus sur le fer rendu *passif* par l'acide fumant. Cela fait, si l'on touche les clous avec une tige de fer qui n'a pas subi l'action

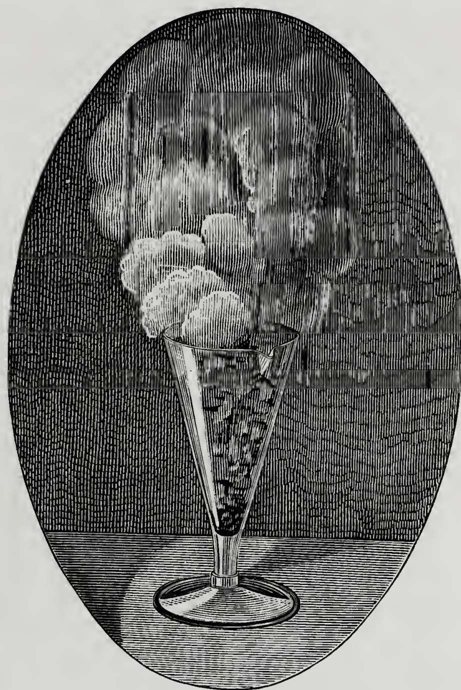


Fig. 145. — Fer et acide nitrique. (Page 194.)

de l'acide nitrique, ils sont immédiatement attaqués et un dégagement de vapeurs nitreuses se manifeste avec une grande énergie.

Le plomb est un métal très mou, on peut sans effort le rayer avec l'ongle; il se laisse plier facilement, et il est presque complètement dépourvu d'élasticité, c'est-à-dire que, lorsqu'on le ploie, il ne tend pas à revenir à sa forme primitive. Le plomb est lourd, il a une densité représentée par le chiffre 11,4, ce qui

veut dire que le poids du litre d'eau étant 1 kilogramme, celui d'un même volume de plomb est de 11^{k},400. La figure 146 représente des barres cylindriques des métaux les plus connus, pesant toutes le même poids, et représentant leurs densités comparatives.

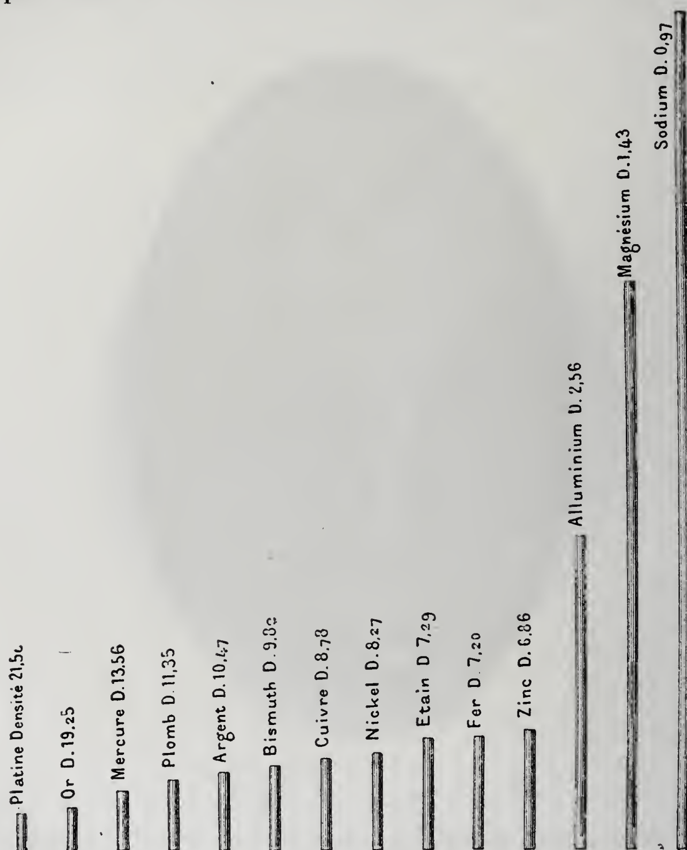


Fig. 146. — Représentation de barres de métaux pesant toutes le même poids. (Page 196.)

Le plomb, comme l'étain, est susceptible de prendre une belle forme cristalline quand on le déplace de ses dissolutions par un métal moins oxydable. La cristallisation du plomb, représentée par la figure 147, est désignée sous le nom d'*arbre de Saturne*. Voici comment on peut faire l'expérience :

on forme une dissolution d'acétate de plomb dans la proportion de 30 grammes de sel par litre d'eau distillée et on verse le liquide dans un vase de forme sphérique. On adapte au bouchon de ce vase un morceau de zinc auquel on attache cinq ou six fils de laiton écartés les uns des autres; on plonge ce système

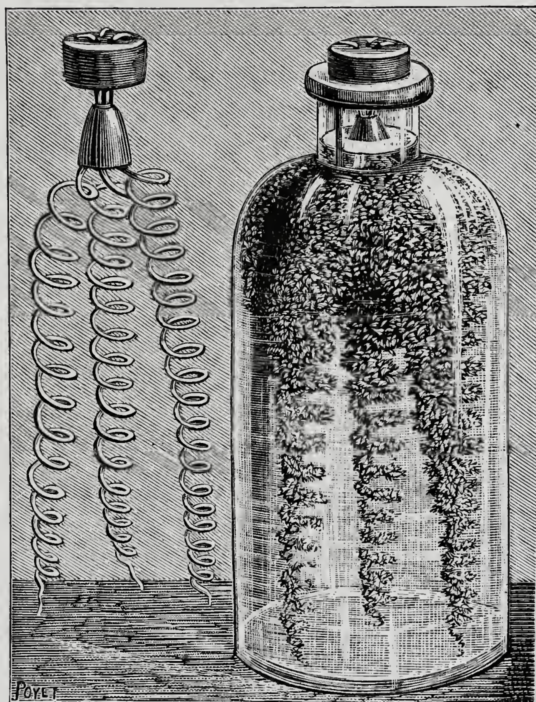


Fig. 147. — Arbre de Saturne. (Page 196.)

dans la liqueur, et bientôt on voit les fils de laiton se couvrir de paillettes de plomb brillantes et cristallines, qui croissent et grandissent de jour en jour. Les alchimistes, qui connaissaient cette expérience, croyaient qu'il y avait là transformation du cuivre en plomb, tandis qu'il n'y a en réalité que substitution d'un métal à un autre. Le cuivre se dissout dans le liquide, et il est remplacé par le plomb qui se dépose; mais il n'y a aucune

métamorphose qui s'accomplisse. On peut varier à volonté la forme du vase ou la disposition des fils qui servent de support aux cristaux de plomb. C'est ainsi qu'il est facile de former des lettres, des chiffres ou des figures quelconques avec le laiton : on a bientôt des images régulières, dues à la cristallisation des paillettes brillantes.

Le cuivre, quand il est pur, a une couleur rouge caractéristique qui ne permet pas de le confondre avec aucun autre métal; il se dissout très facilement dans l'acide nitrique, avec une vive effervescence et dégagement de vapeurs rutilantes très abondantes. Cette propriété a été mise à profit dans la gravure dite à l'eau-forte. On couvre une plaque de cuivre d'une couche de vernis, et, quand elle est sèche, on y pratique des traits à l'aide d'un burin ; si on verse de l'acide nitrique sur la plaque ainsi préparée, le cuivre est seulement attaqué dans les parties mises à nu par la pointe de l'acier. Enlevant ensuite le vernis, on a une planche gravée qui peut servir à tirer des épreuves multiples.

Parmi les expériences que l'on exécute à l'aide des métaux usuels, nous mentionnerons celle à laquelle on peut employer les sels d'étain.

L'étain a une grande tendance à prendre une forme cristalline, et il est facile de mettre cette propriété en évidence par une expérience remarquable. On place au fond d'une éprouvette une dissolution concentrée de protochlorure d'étain que l'on prépare en dissolvant à chaud de l'étain métallique dans de l'acide chlorhydrique ; puis on descend une baguette d'étain dans l'éprouvette, comme on l'a indiqué à la droite de la figure 148. Cela fait, on fait couler de l'eau sur le barreau d'étain, en ayant soin d'avoir une chute lente de liquide, de manière à empêcher le mélange de protochlorure d'étain. On abandonne l'éprouvette au repos, et l'on ne tarde pas à voir de brillants cristaux s'élancer de la baguette et simuler les tiges ramifiées d'une fougère (fig. 148). Cette cristallisation ne s'effectue que dans la couche d'eau ; elle s'explique par une action électrique dans le détail

de laquelle nous ne pourrions entrer sans dépasser les limites de notre cadre, et elle est connue sous le nom d'arbre de Jupiter. On sait que les alchimistes, dans leur nomenclature bizarre, avaient cru voir une certaine relation mystérieuse entre les sept métaux connus alors et les sept planètes; chaque métal était dédié à une planète, et l'étain se nommait Jupiter. L'argent s'appelait Lune; l'or, le Soleil; le plomb, Saturne; le fer, Mars; le vif-argent, Mercure, et le cuivre, Vénus.

La cristallisation de l'étain peut se reconnaître encore en frottant une feuille de ce métal avec de l'acide chlorhydrique; le décapage ainsi effectué révèle des cristaux ramifiés, analogues au givre qui se dépose sur nos carreaux pendant les froids de l'hiver; c'est un moiré métallique. Quand on ploie entre les mains un barreau d'étain, on brise les cristaux enchevêtrés, et l'on entend un bruissement particulier que l'on appelle le *cri de l'étain.*

Si nous voulons parler des métaux précieux, nous rappellerons que les alchimistes considéraient l'or comme le roi des métaux, les autres métaux rares étaient pour eux des métaux nobles.

Cette définition est erronée s'il est permis de considérer comme précieux ce qui est utile, car, dans ce cas, le fer et le cuivre devraient être placés au premier rang. Si l'or était abondamment répandu à la surface du sol, et si le fer était rare, on rechercherait avidement ce métal si nécessaire, et l'on mépriserait le premier, à l'aide duquel on ne saurait faire ni le soc d'une charrue ni l'outil le plus indispensable à toute industrie. Quoi qu'il en soit, la rareté de l'or, son bel aspect jaunâtre, son inaltérabilité au contact de l'air, le placent en première ligne sur la liste des métaux précieux.

L'or est très pesant; sa densité est représentée par le chiffre 19,5. C'est le plus malléable et le plus ductile des métaux; on peut le réduire par le battage, en feuilles tellement minces qu'il en faudrait superposer dix mille pour avoir l'épaisseur d'un millimètre. Avec un gramme d'or, on peut fabriquer un fil d'une lieue de long, fil tellement ténu qu'il ressemble au tissage de la

toile d'une araignée. Quand l'or est réduit en feuilles minces, il n'est plus opaque ; si on le colle à l'aide d'une solution de gomme sur une lame de verre, la lumière le traverse de part en part, et présente une nuance verdâtre très sensible.

L'or se rencontre dans la nature à l'état natif; on le trouve

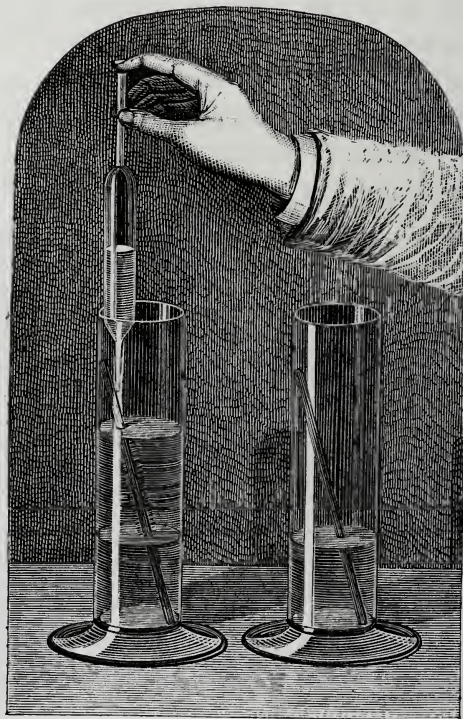


Fig. 148. — Arbre de Jupiter. (Page 198.)

souvent disséminé dans les sables à l'état de poussière impalpable, et il se présente dans certaines localités en masses irrégulières plus ou moins volumineuses, que l'on désigne sous le nom de *pépites*.

L'or est le moins altérable des métaux, et il peut être exposé indéfiniment au contact de l'air humide sans s'oxyder. Il n'est pas attaqué par les acides les plus énergiques, et il se dissout

seulement dans un mélange formé d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique appelé *eau régale.* On peut prouver que l'or résiste à l'action des acides par l'opération suivante. On place des feuilles d'or dans deux petits matras contenant, le premier de l'acide chlorhydrique, le second de l'acide nitrique. On fait chauffer les deux vases sur un fourneau, et, quelle que soit la durée de l'ébullition des acides, les feuilles d'or, intactes, résistent complètement à leur action. Si l'on transvase le contenu d'une fiole



Fig. 149. — Feuille d'or exposée aux vapeurs de mercure. (Page 201.)

dans l'autre, on mélange ensemble les acides chlorhydrique et nitrique, on forme de l'eau régale, et l'on voit immédiatement les feuilles d'or disparaître dans ce liquide, qui les dissout avec la plus grande facilité. L'or s'altère aussi au contact du mercure. On le prouve en suspendant une feuille d'or au-dessus d'une couche de ce métal liquide (fig. 149). Elle s'altère promptement et s'unit aux vapeurs du mercure en devenant grisâtre.

L'argent est plus altérable que l'or, et son reflet, si blanc quand il est fondu, se ternit rapidement au contact de l'air. Il ne s'oxyde pas, mais il se sulfure sous l'influence des émanations

sulfhydriques. L'argent ne se combine pas directement avec l'oxygène de l'air ; mais il peut, dans certains cas, dissoudre des quantités notables de ce premier gaz. Si on le fait fondre dans une petite coupelle en os, au contact de l'air, si on le laisse refroidir brusquement, il se boursoufle d'une manière notable et abandonne de l'oxygène ; on dit alors que l'argent *roche*.

L'acide nitrique dissout l'argent très facilement, en déterminant la formation de vapeurs rutilantes très abondantes. En évaporant la solution obtenue, on voit se former des cristaux blancs pailletés qui sont le nitrate d'argent. Ce nitrate d'argent fondu prend le nom de *pierre infernale*, et il est employé comme cautérisant en médecine. Le nitrate d'argent est très vénéneux ; il possède la singulière propriété de noircir sous l'action des rayons solaires, et il est devenu la base des merveilleuses opérations de la photographie.

Les sels d'argent en dissolution dans l'eau, ont la propriété de se précipiter sous l'action des chlorures, tels que le sel marin. Si l'on jette quelques grains de sel de cuisine dans une solution de nitrate d'argent, il se forme un abondant précipité cailleboté de chlorure d'argent, qui noircit à la lumière. Ce précipité, insoluble dans l'acide nitrique, se dissout très facilement dans l'ammoniaque.

Le platine, qui est le dernier des métaux précieux qu'il nous reste à étudier, est d'un blanc grisâtre ; il ne peut, comme l'or, être attaqué que par l'eau régale. C'est le plus pesant de tous les métaux usuels ; sa densité est de 21,50. Il est très malléable et très ductile ; on arrive à le battre en feuilles très minces et en fils aussi ténus que les fils d'or. On arrive même à fabriquer des fils de platine tellement fins que l'œil ne les perçoit que difficilement ; ces fils sont connus sous le nom de fils invisibles de Wollaston. Le platine résiste à l'action des feux de forge les plus intenses, et l'on ne saurait en déterminer la fusion qu'à l'aide du chalumeau à gaz oxyhydrique. Son inaltérabilité et la résistance qu'il oppose au feu, le rendent précieux dans les usages du laboratoire. On en fabrique de petits creusets qui servent aux chimistes

pour calciner leurs précipités dans les opérations analytiques, ou déterminer des réactions sous l'influence d'une température élevée.

Le platine peut être réduit à un grand état de division ; il offre alors l'aspect d'une poudre noire, et prend le nom de noir de platine. A cet état pulvérulent, il absorbe les gaz avec une très grande rapidité, à un tel point qu'un centimètre cube de noir de platine peut condenser 750 fois son volume de gaz hydrogène. Il condense aussi l'oxygène, et dans un grand nombre de cas, il agit comme un oxydant énergique. Le platine s'obtient aussi en masse spongieuses (*mousse de platine*) qui déterminent des phénomènes d'oxydation.

On peut confectionner une petite lampe très ingénieuse qui s'allume d'elle-même sans le secours d'aucune flamme. Elle contient intérieurement une cloche de verre qui se remplit de gaz hydrogène provenant de l'action qu'exerce un culot de zinc sur l'eau acidulée qu'on y a enfermée. Si l'on presse le bouton placé à la partie supérieure de l'appareil, l'hydrogène s'échappe et va frapper un morceau de mousse de platine qui, agissant par oxydation, enflamme le gaz. La flamme produite met le feu à une petite lampe à huile qui se trouve en regard du jet gazeux. Cette lampe, très ingénieuse, est connue sous le nom de briquet Gay-Lussac. Le platine en mousse peut ainsi déterminer, par son seul contact, un grand nombre de réactions chimiques. Recueillez dans une éprouvette un mélange détonant formé de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène ; plongez dans ce gaz un petit morceau de mousse de platine, et immédiatement la combinaison des deux corps s'effectuera en faisant entendre une violente détonation. Chauffez au rouge une petite spirale de platine dans la flamme d'une lampe, après l'avoir suspendue à un carton ; plongez-la rapidement dans un verre contenant de l'éther, et vous verrez la spirale métallique rester rouge pendant un temps très long, tandis que dans l'air elle se serait refroidie immédiatement. Ce phénomène est dû à l'action d'oxydation qu'exerce le platine sur les vapeurs d'éther. On connaît cette

expérience célèbre sous le nom de *lampe sans flamme.* Ces remarquables actions oxydantes du platine, qu'on ne sait pas encore expliquer, étaient autrefois désignées sous le nom d'*actions catalytiques.* Mais un mot, si grec qu'il soit, n'est pas une théorie, et il est toujours préférable d'avouer son ignorance que de la dissimuler sous une apparence de savoir. La science est assez riche pour qu'elle puisse exprimer hardiment ses doutes et ses incertitudes. En observant la nature, on déduit des expériences de ces observations, et l'on est souvent conduit à rencontrer des faits qui peuvent être mis à profit et devenir des applications utiles; il se peut cependant que le pourquoi et les causes échappent longtemps encore à l'œil le plus clairvoyant et à l'intelligence la plus lucide. Les applications de la science ont lieu de nous frapper par l'importance de leurs résultats, par les admirables inventions qui en ont été la conséquence; mais si elles ont pu tirer parti des faits observés, que nous apprennent-elles sur les causes premières de toutes choses, sur le *pourquoi* de la nature? Presque rien. — Il faut savoir humblement confesser notre impuissance, et dire comme d'Alembert : « L'Encyclopédie est bien abondante, mais que serait-elle si elle parlait de ce qu'on ne sait pas ? »

COLORATION ARTIFICIELLE DES FLEURS.

On a l'habitude, dans les cours de chimie, de mettre en évidence l'action exercée par l'acide sulfureux sur les matières colorantes végétales, en faisant agir ce gaz sur des violettes, qu'il blanchit presque instantanément. L'acide sulfureux, par ses propriétés désoxydantes, détruit la couleur d'un grand nombre de fleurs, telles que les roses, les pervenches, etc. L'expérience réussit très promptement au moyen du petit appareil que nous représentons plus loin (fig. 150). On fait fondre, dans une petite capsule de porcelaine, du soufre qui s'enflamme au contact de l'air, et donne naissance par sa combinaison avec l'oxygène à de l'acide sulfureux ; on recouvre la capsule, d'une cheminée conique, fa-

çonnée avec une feuille de tôle mince, et on expose à l'orifice supérieur les fleurs que l'on veut décolorer. L'action est très rapide, et il suffit de quelques secondes pour rendre absolument blanches, des pervenches, des pensées violettes, des roses, des campanules, etc.



Fig. 150. — Décoloration de pervenches par l'acide sulfureux. (Page 204.)

Un savant distingué, M. Filhol, a jadis exposé devant les membres de l'Association scientifique, les résultats qu'il avait obtenus, en faisant agir sur les fleurs, un mélange d'éther sulfurique et de quelques gouttes d'ammoniaque ; il a montré que, sous l'action de ce liquide, un grand nombre de fleurs violettes ou roses devenaient d'un beau vert très intense. Nous avons exécuté à ce sujet une série d'expériences que nous résumerons ici ; elles pourront facilement être reprises et continuées par ceux de nos lecteurs que la question intéresserait.

On verse, dans un verre, de l'éther ordinaire que l'on additionne d'une petite quantité d'ammoniaque liquide ($\frac{1}{10}$ du volume environ). On plonge dans la liqueur des fleurs sur lesquelles on veut expérimenter (fig. 151).

Un certain nombre de fleurs, colorées naturellement en violet ou en rose, prennent instantanément une couleur d'un vert très vif, rappelant l'aspect des verts de cuivre ; tels sont : le géranium rosat, la pervenche violette, la julienne lilas, le thlaspi lilas, les roses rouges et roses, la giroflée de Mahon, le thym, la petite campanule bleue, la fumeterre, le myosotis et l'héliotrope. D'autres fleurs, dont les couleurs ne sont pas d'une même nuance, prennent des teintes différentes par le contact avec l'éther ammoniacal.

Le pétale supérieur du pois de senteur violet devient bleu foncé, tandis que le pétale inférieur prend une couleur vert clair. L'œillet de poète panaché devient brun et vert clair. Les fleurs de couleur blanche passent généralement au jaune ; tels sont : le pavot blanc, le muflier panaché qui devient jaune et violet foncé, la rose blanche qui se colore en jaune paille, l'ancolie blanche, le cynoglosse, la camomille, le seringat, la marguerite blanche, la pomme de terre blanche, la julienne blanche, le chèvrefeuille, la fève, la reine-des-prés, la digitale blanche, qui en contact avec l'éther ammoniacal se parent de nuances jaunes plus ou moins foncées. Le muflier blanc devient jaune et orange foncé.

Dans le pois de senteur rose, le pétale supérieur devient bleu, le pétale inférieur vert tendre ; le géranium rose passe au bleu d'une façon très remarquable ; dans le mimulus, l'action de l'éther ammoniacal a lieu seulement sur les taches rouges qui passent au brun vert ; le muflier rouge devient d'un beau brun métallique ; dans la dielytra, l'extrémité blanche devient jaune, et les pétales extérieurs gris métallique. La valériane se pare d'une nuance grisâtre, et le rouge coquelicot passe au violet très foncé.

Les fleurs jaunes ne sont généralement pas altérées par l'éther



Coloration artificielle des fleurs
A. Fleurs naturelles.
B. Les mêmes traitées par l'éther ammoniacal.

ammoniacal ; le bouton d'or, le souci, la giroflée jaune, etc., conservent leur nuance naturelle au sein du liquide, le cyclamen cependant, devient jaune rougeâtre.

Les feuilles colorées en rouge, comme celles du hêtre pourpre, et celles d'un grand nombre d'arbres végétaux, deviennent instantanément vertes quand on les met en contact avec l'éther ammoniacal. L'action de ce liquide est tellement rapide, qu'il est facile de les tacheter de points verts, en y faisant tomber çà et là quelques gouttes de la solution. On peut de même tacheter de points blancs les fleurs violettes telles que les pervenches, et cela en laissant les fleurs sur leurs tiges sans les cueillir.

Nous donnons dans la planche II l'aspect de quelques fleurs naturelles avant et après leur immersion dans l'éther ammoniacal ; deux cyclamens, rouge et rose, une anthémis et une rose rouge, sont figurés en A ; on les voit en B quand ils ont été plongés dans le liquide actif.

Nous compléterons ces renseignements par la description des expériences que M. Gabba a exécutées en Italie au moyen de l'ammoniaque qu'il fait agir directement sur les fleurs. M. Gabba se sert tout simplement d'une assiette dans laquelle il verse une certaine quantité de la solution d'ammoniaque. Il pose ensuite sur cette assiette un entonnoir renversé dans le tube duquel il place les fleurs qu'il veut soumettre à l'expérience. En opérant de cette manière, il a vu, sous l'action de l'ammoniaque, les fleurs bleues, violettes et purpurines devenir d'un beau vert ; les fleurs rouge-carmin intense (œillets) devenir noires ; les blanches jaunir, etc.

Les changements de couleur les plus singuliers lui ont été offerts par les fleurs qui réunissent plusieurs teintes différentes, et dont les lignes rouges ont verdi, les blanches ont jauni, etc. Un autre exemple remarquable est celui des fuchsias à fleurs blanches et rouges, qui, par l'action des vapeurs ammoniacales, sont devenues jaunes, bleues et vertes. Lorsque les fleurs ont subi ces changements de couleurs, si on les plonge dans l'eau pure, elles conservent leur nouvelle coloration pendant plusieurs

heures ; après quoi, elles retournent peu à peu à leur coloris primitif.

Une autre observation intéressante, due à M. Gabba, c'est que les fleurs des *Asters*, qui sont naturellement inodores, acquièrent une odeur aromatique agréable sous l'influence de l'ammonia-



Fig. 151. — Expérience pour colorer en vert des ancolies par l'éther ammoniacal. (Page 206.)

que. Les fleurs de ces mêmes *Asters*, dont la couleur naturelle est le violet, deviennent rouges quand on les mouille avec de l'acide azotique étendue d'eau. D'un autre côté, ces mêmes fleurs, si on les enferme dans une boîte de bois où elles soient exposées aux vapeurs de l'acide chlorhydrique, deviennent, en six heures, d'un beau rouge-carmin qu'elles conservent quand on les place dans un endroit sec et à l'ombre, après les avoir desséchées à l'air et à l'obscurité.

Dans les expériences faites au moyen de l'éther ammoniacal,

l'acide chlorhydrique ramène aussi au rouge les fleurs rendues vertes par l'action du premier liquide, mais généralement en les altérant d'une façon très sensible.

Nous terminerons cette étude en faisant observer que l'ammoniaque, mélangée avec l'éther, agit beaucoup plus promptement que lorsqu'elle est employée seule.

LA PHOSPHORESCENCE.

On voit quelquefois, exposées chez les opticiens, des fleurs artificielles préparées d'une façon spéciale, et qui ont la propriété d'être phosphorescentes dans l'obscurité, lorsqu'elles ont été exposées à l'action d'un rayon de lumière, solaire, électrique ou de magnésium incandescent. Ces objets de chimie amusante se rattachent à des phénomènes très intéressants, à des expériences très curieuses, aujourd'hui peu connues ; nous voulons y appeler l'attention du lecteur.

La faculté que possèdent certains corps d'émettre de la lumière, quand on les place dans certaines conditions, est beaucoup plus générale qu'on ne le croit communément. M. Edmond Becquerel, à qui l'on doit un remarquable travail sur ce sujet, divise les phénomènes de phosphorescence en cinq classes distinctes :

1° *Phosphorescence par élévation de température.* — Parmi les substances qui présentent ce phénomène à un haut degré, on peut citer certains diamants, les variétés colorées de fluorure de calcium, certains minéraux à base de chaux, et les sulfures connus sous le nom de phosphores artificiels, quand ils ont été préalablement exposés à l'action de la lumière.

2° *Phosphorescence par action mécanique.* — Elle s'observe quand on frotte certains corps les uns contre les autres ou avec un corps dur. Lorsque l'on frotte deux cristaux de quartz dans l'obscurité, on aperçoit des étincelles de couleur rouge : quand on broie de la craie ou du sucre, il y a également émission de lumière, etc.

3° *Phosphorescence par l'électricité.* — Elle se manifeste par les lueurs qui accompagnent le dégagement de l'électricité par influence, et lorsque les gaz et les vapeurs raréfiées transmettent des décharges électriques.

4° *Phosphorescence spontanée.* — Elle s'observe, comme personne ne l'ignore, chez un certain nombre d'animaux vivants (vers luisants, cucujos, noctiluques, etc.); des effets de phosphorescence se produisent aussi avec des subtances organiques, animales ou végétales, avant que la putréfaction ait lieu ; ils se manifestent enfin lors de la floraison de certaines plantes, etc.

5° *Phosphorescence par insolation ou par l'action de la lumière.* — « Elle consiste, dit M. Edmond Becquerel, en ce que, si l'on expose pendant quelques instants à l'action de la lumière solaire ou diffuse, ou à celle des rayons émanés d'une source lumineuse de quelque intensité, certaines substances minérales ou organiques, ces matières deviennent immédiatement lumineuses par elles-mêmes, et brillent alors dans l'obscurité avec une lueur dont la couleur et la vivacité dépendent de leur nature et de leur état physique; la lueur qu'elles émettent ainsi diminue graduellement d'intensité pendant un temps qui varie de quelques secondes jusqu'à plusieurs heures. Quand on expose de nouveau ces substances à l'action du rayonnement, le même effet se reproduit. L'intensité de la lumière émise après l'insolation est toujours beaucoup moindre que celle de la lumière incidente. Ces phénomènes paraissent avoir été observés d'abord avec des pierres précieuses, puis, en 1604, avec la pierre de Bologne calcinée (phosphore qui a le plus occupé les physiciens), ensuite avec un diamant, par Boyle, en 1663; en 1675, avec le phosphore de Baudoin (résidu de la calcination du nitrate de chaux), et plus tard à l'aide d'autres substances que nous allons citer.

« Les corps qui sont les plus impressionnables à l'action du rayonnement sont les sulfures de calcium et de baryum (phosphores de Canton et de Bologne), le sulfure de strontium, certains diamants et la variété de fluorure de calcium qui a reçu le nom de *chlorophane.* »

Le sulfure de calcium phosphorescent (phosphore de Canton) se prépare en calcinant dans un creuset de terre un mélange de fleur de soufre et de carbonate de chaux. Mais la préparation ne réussit qu'avec du carbonate de chaux d'une nature particulière. Celui qui provient de la calcination de coquilles d'huîtres donne de très bons résultats. On mélange trois parties de la substance ainsi obtenue, avec une partie de fleur de soufre, et on les chauffe au rouge dans un creuset, à l'abri du contact de l'air. Le phosphore de Canton, que l'on obtient ainsi, donne, dans l'obscurité, une lumière jaune après son insolation. Les coquilles d'huîtres calcaires ne sont pas toujours pures, et le résultat obtenu est quelquefois peu satisfaisant ; il est préférable d'agir avec des corps dont la composition soit bien déterminée. « Quand on veut préparer un sulfure phosphorescent avec de la chaux ou du carbonate de chaux, dit M. E. Becquerel, les proportions les plus convenables sont celles dans lesquelles sur 100 parties de matière, on emploie 80 p. 100 de fleur de soufre dans le premier cas, et 48 p. 100 dans le second cas, c'est-à-dire lorsqu'on emploie les quantités de soufre qui seraient nécessaires pour être brûlées par l'oxygène de la chaux ou du carbonate, et pour produire un monosulfure [1]. »

Il faut avoir égard, dans la préparation, à l'élévation de la température ainsi qu'à sa durée. En opérant, en effet, avec de la chaux provenant de l'aragonite fibreuse, et portant le creuset à une température inférieure à 500 degrés, pendant un temps suffisant pour que la réaction entre le soufre et la chaux ayant lieu, le soufre en excès soit éliminé, on a une masse faiblement lumineuse, avec une teinte bleuâtre ; si cette masse est portée à une température de 800 à 900 degrés et ne dépasse pas la fusion de l'argent ou de l'or, et cela pendant vingt-cinq ou trente minutes, alors la masse offre par phosphorescence une teinte lumineuse très vive.

Le sulfure de calcium jouit de propriétés phosphorescentes

[1] Ces substances doivent être très finement pulvérisées et intimement mélangées.

différentes suivant la nature du sel qui a servi à produire le carbonate de chaux employé. Si l'on transforme du marbre blanc en nitrate de chaux, en le dissolvant dans de l'eau additionnée d'acide nitrique, si l'on précipite le sel par le carbonate d'ammoniaque, et que l'on emploie le carbonate de chaux ainsi



Fig. 152. — Fleur artificielle enduite d'une poudre phosphorescente, exposée à la lumière du magnésium. (Page 214.)

obtenu à la préparation du sulfure de calcium, on a un produit qui donne une phosphorescence de couleur violet-rose. Si le carbonate de chaux dont on se sert provient de chlorure de calcium précipité par le carbonate d'ammoniaque, la phosphorescence est jaune.

En traitant par le soufre le carbonate de chaux préparé avec

de l'eau de chaux traversée par un courant d'acide carbonique, on a un sulfure dont la lumière émise par phosphorescence, est encore d'un violet très pur. Le carbonate de chaux obtenu en précipitant le chlorure de calcium cristallisé du commerce, par différents carbonates alcalins, donne aussi de bons résultats.

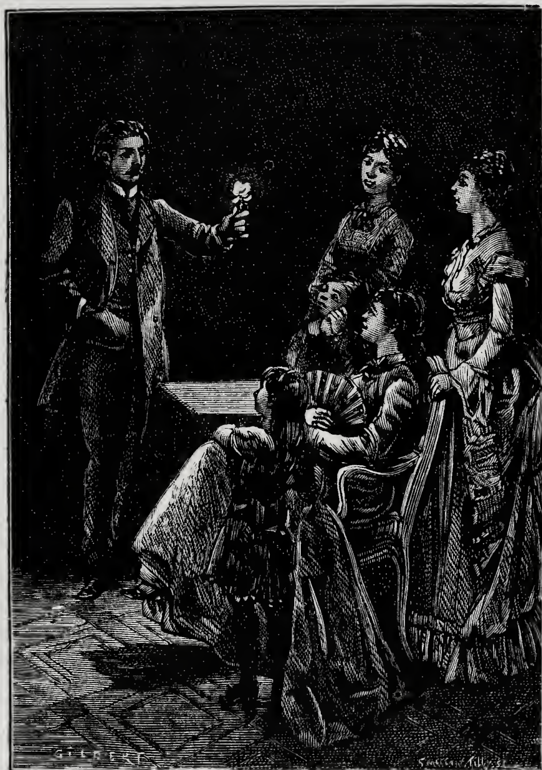


Fig. 153. — La même fleur phosphorescente, émettant de la lumière dans l'obscurité. (Page 214.)

Les sulfures de strontium lumineux peuvent être obtenus, comme ceux de calcium, par l'action du soufre sur la strontiane ou le carbonate de cette base, par la réduction du sulfate de strontiane avec du charbon. Les nuances vertes et bleues sont les plus fréquentes.

Les sulfures de baryum présentent aussi des phénomènes de

phosphorescence très remarquables. Cependant, pour obtenir des masses bien lumineuses, il faut en général une température plus élevée et plus soutenue que pour les autres composés. Tel est l'effet produit quand on réduit du sulfate de baryte naturel par le charbon, c'est-à-dire lors de la réaction qui donne lieu au phosphore anciennement connu sous le nom de *phosphore de Bologne*. Les préparations obtenues avec la baryte ont une phosphorescence variant du rouge orangé au vert.

La préparation des substances dont nous venons de donner l'énumération, permet d'expliquer facilement le mode de confection des fleurs lumineuses que nous signalions au commencement de cette notice. On prend des fleurs artificielles, on les enduit d'une colle liquide, de gomme en dissolution dans l'eau, par exemple ; on les saupoudre du sulfure phosphorescent, et on les fait sécher. La matière pulvérulente y adhère solidement. Il suffit d'exposer la fleur ainsi préparée à la lumière solaire ou de l'éclairer par les rayons émanant d'un fil de magnésium en combustion (fig. 152), elle devient aussitôt phosphorescente. Si on la transporte dans une chambre obscure (fig. 153), elle brille d'un vif éclat, et dégage des rayons colorés d'un effet charmant. On se sert des sulfures phosphorescents pour tracer des dessins ou des noms sur une surface de papier, etc., on concevra que ces expériences peuvent varier facilement au gré de l'expérimentateur. Ces substances ne sont-elles pas susceptibles d'être employées à des usages plus sérieux, y a-t-il lieu d'espérer qu'elles se classeront parmi les produits utiles? La réponse est affirmative. On obtient avec les matières phosphorescentes artificielles des cadrans lumineux pour les horloges placées dans l'obscurité ; il ne serait pas impossible de s'en servir pour faire des enseignes de boutiques ou des numéros de maisons, qui luiraient pendant la nuit.

LA CHIMIE APPLIQUÉE A LA PRESTIDIGITATION.

Tandis que la physique a fourni à cet art d'amusement que l'on

a appelé la prestidigitation, un grand nombre d'effets intéressants, la chimie ne lui a apporté qu'un faible concours. Robert Houdin a jadis employé l'électricité pour faire mouvoir les aiguilles de son horloge magique, l'électro-aimant pour rendre un coffre de fer si lourd instantanément, que personne ne pouvait le soulever. Robin s'est servi de l'optique pour produire sur la scène les effets si curieux des *Spectres*, ou du *Décapité parlant*, etc. Les amateurs de ce genre de récréations peuvent cependant emprunter à la chimie quelques expériences originales et cela sans grand appareil. Voici un tour d'escamotage que j'ai vu exécuter avec succès devant un nombreux auditoire, par un prestidigitateur fort habile.

L'opérateur prenait un verre à boire, parfaitement transparent, et le plaçait sur une table : il annonçait qu'il allait recouvrir le verre d'une soucoupe, et que, se tenant à distance, il ferait pénétrer dans le verre la fumée d'une cigarette. Ce qui fut annoncé s'exécuta. Tandis que l'expérimentateur fumait au loin, le verre se remplissait comme par enchantement d'une fumée blanche très abondante (fig. 154).

Ce tour s'exécute très facilement : il suffit de verser au préalable dans le verre, deux ou trois gouttes d'acide chlorhydrique et d'humecter la soucoupe, sur le fond qui sera placé sur le vase, de quelques gouttes d'ammoniaque qui y adhèrent par capillarité. Les deux liquides, ainsi versés à l'avance avant que le verre et la soucoupe ne soient présentés aux spectateurs, forment une couche si mince, qu'ils passent inaperçus, mais, quand ils sont mis en présence au moment où la soucoupe est placée sur le verre, ils donnent naissance à des vapeurs blanches de chlorhydrate d'ammoniaque ; ces vapeurs offrent une complète ressemblance avec la fumée de tabac.

Les faiseurs de tour exhibent parfois des bouteilles taillées en spirale élastique comme un ressort de verre (fig. 155).

Voici comment on arrive à les confectionner :

On se sert d'un charbon formé de 180 grammes de noir de fumée mélangés avec 56 grammes de gomme arabique, 23 gram-

mes de gomme adragante, 23 grammes de benjoin, délayés dans l'eau ; on façonne la pâte obtenue en un crayon, qui rougi dans une flamme, coupe le verre partout où il est appliqué. On commence la taille par un trait de lime ; on continue la fente avec le crayon taillé en pointe et rougi au feu.

Quand on a commencé à mordre le verre par le trait de lime,

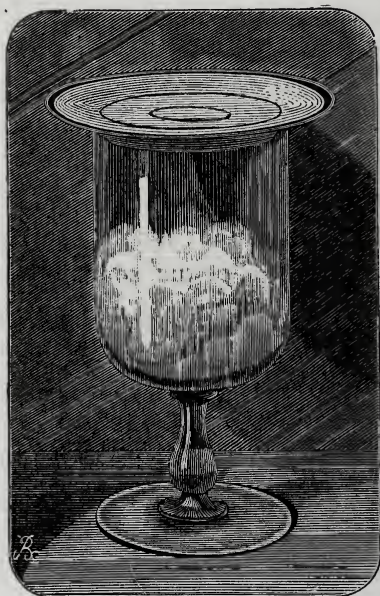


Fig. 154. — Une expérience de chimie amusante. (Page 215.)

on approche le charbon rouge, en cet endroit même, et on le frotte contre le verre en le soufflant à l'aide de la bouche pour augmenter l'incandescence. La figure ci-contre donne le spécimen de ce qu'on peut faire, à l'aide de la méthode que nous indiquons.

LES ŒUFS GRAVÉS.

Il y a quelque temps, un marchand en plein vent vendait, sur les carrefours et les places, des coques d'œufs sur lesquelles

des prénoms, des devises ou des fleurs étaient gravés. L'art de graver sur les œufs se rattache à un fait historique curieux et fort peu connu.

Au mois d'août 1808, lors de la guerre d'Espagne, on trouva, dans l'église patriarcale de Lisbonne, un œuf, sur la coque duquel l'extermination prochaine des Français était annoncée. Ce

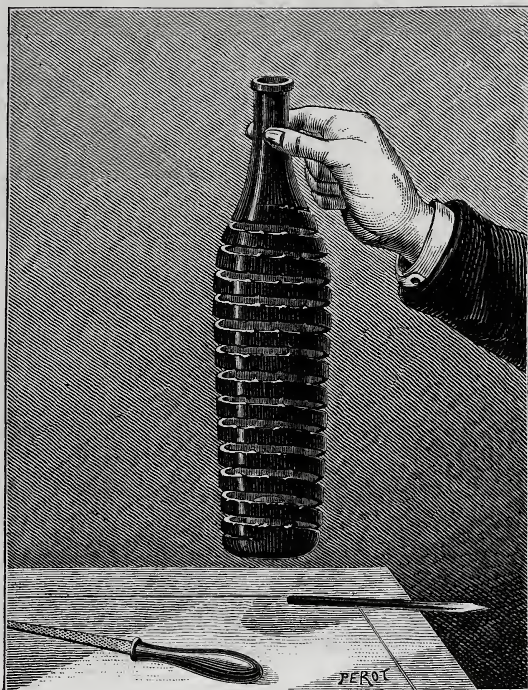


Fig. 155. — Bouteille taillée en spirale. (Page 215.)

fait causa une vive effervescence dans la population superstitieuse portugaise et fut sur le point de causer un soulèvement.

Le commandement français y fit remédier d'une façon ingénieuse. Des milliers d'œufs portant gravé le démenti de la prédiction furent distribués dans la ville. Les Portugais, profondément étonnés, ne savaient que penser, mais des milliers d'œufs démentant la prédiction gravée sur un seul avaient la puissance de la

majorité. En outre, quelque jours après, des affiches apposées à tous les coins de la ville indiquaient le moyen d'opérer le miracle. Ce moyen est très simple, voici en quoi il consiste : on écrit ou l'on dessine sur la coquille de l'œuf avec de la cire ou du vernis ou simplement du suif. On plonge ensuite cette coquille



Fig. 156. — Manière d'opérer la gravure sur un œuf. (Page 216.)

dans un acide faible, du vinaigre, par exemple, de l'acide chlorhydrique étendu, de l'eau-forte de graveur ou de l'eau de cuivre (fig. 156). Partout où le corps isolant n'a pas protégé la coquille, le calcaire de celle-ci est décomposé, et dissous dans l'acide. L'écriture ou le dessin, reste donc en relief. La manière de procéder ne présente aucune difficulté, mais cependant pour réussir dès le premier essai il faut prendre quelques précautions.

D'abord, comme on grave généralement sur les œufs soufflés,

afin de pouvoir les conserver sans altération, il est nécessaire, avant de les plonger dans l'acide, de fermer les ouvertures des deux extrémités avec une boulette de cire jaune ou blanche; de plus comme ces œufs sont très légers, on est obligé de les maintenir au fond du bain d'acide, à l'aide d'un fil fixé à un poids ou bien enroulé à l'extrémité d'une baguette de verre.

Si l'acide est très étendu d'eau, l'opération, bien qu'un peu longue, donne de meilleurs résultats; deux ou trois heures suffisent en général pour avoir des caractères ou des traits ressortant suffisamment.

Graver sur des œufs, est, comme on le voit, très facile ; de miracle et d'œuvre de sorcier, c'est devenu une simple expérience de chimie amusante.

CHAPITRE VI

LA TOUPIE MAGIQUE ET LE GYROSCOPE
LA MÉCANIQUE DES JOUETS

Nous avons parlé précédemment des toupies chromatiques qui se rattachent aux expériences de la vision des couleurs. Il n'est personne qui ne connaisse la vulgaire toupie, et nous ne croyons pas qu'il soit utile d'en donner la description ; mais nous parlerons avec détails de la remarquable toupie magique, qui offre de nombreux sujets d'observations et d'études au point de vue de la mécanique. Composé d'un disque massif muni d'un axe pouvant tourner sur deux pivots reliés par un cercle de métal, ce jouet au repos n'offre rien de particulier, c'est un ensemble complètement inerte qui, comme tous les corps, obéit aux lois de la pesanteur. Mais vient-on à imprimer au disque un mouvement de rotation rapide, tout change, ce corps inerte semble avoir pris une vie propre ; si nous essayons de la déplacer, il résiste et semble vouloir forcer la main qui le tient, à le suivre dans certaines directions et à exécuter des mouvements différents de ceux qu'elle cherche à lui imprimer.

Bien plus, il paraît s'être affranchi dans une certaine mesure des lois de la pesanteur ; si nous le plaçons sur son pivot, au lieu de tomber comme il le ferait lorsque le disque est immobile, il

va conserver la position horizontale ou inclinée que nous lui avons donnée, l'extrémité libre de son axe décrivant lentement un cercle horizontal autour du point d'appui de l'autre extrémité.

Peu de personnes sont assez familiarisées avec les théories de la mécanique rationnelle pour comprendre ces phénomènes, et

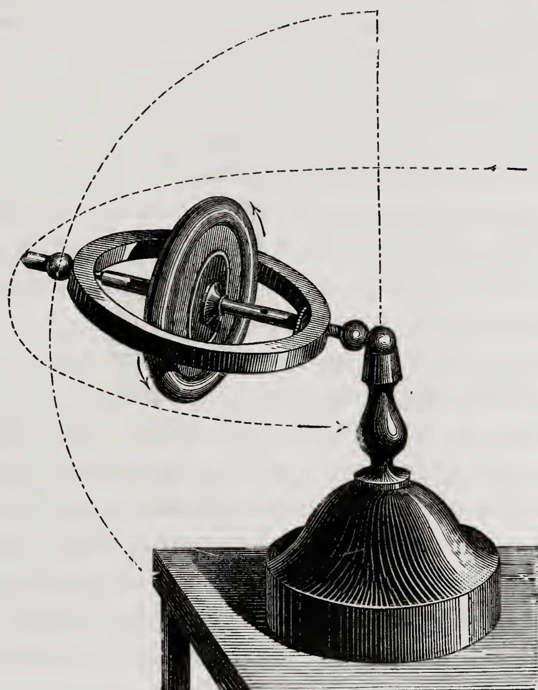


Fig. 157. — La toupie magique. (Page 220.)

souvent la toupie achetée pour amuser un enfant devient un objet d'étonnement ou d'étude pour son entourage.

Nous ne prétendons pas ici exposer mathématiquement les raisons qui font que les faits ne peuvent se passer autrement que nous le voyons, mais le principe de mécanique sur lequel a été construite cette toupie ayant une grande importance scientifique, nous voulons l'exposer en quelques mots à nos lecteurs.

Il suffit d'avoir quelques notions de mécanique pour savoir

qu'un corps en mouvement, soumis à l'action d'une force tendant à lui imprimer un autre mouvement suivant une direction différente, suivra une troisième direction qui est dite résultante des deux autres, cette résultante se rapprochant d'autant plus d'une des directions primitives que le mouvement correspondant est plus rapide par rapport à l'autre. Si, par exemple, vous frappez une bille qui passe devant vous, de manière à la chasser normalement à sa direction, elle ne semblera obéir qu'en partie à votre impulsion et continuera sa marche suivant une direction oblique, la vitesse qu'elle avait déjà, se composant avec cette impulsion, pour produire le mouvement résultant. Si elle passe très vite et que vous frappiez doucement, elle se dérangera à peine de sa direction. Si au contraire elle va lentement et qu'elle reçoive un choc violent, elle s'échappera presque exactement dans la direction dans laquelle elle a été frappée.

Eh bien, ce qui se passe lorsqu'un corps tend à prendre en même temps deux mouvements de translation, se produit encore lorsqu'il s'agit de mouvements de rotation ; c'est-à-dire que si une force vient agir sur un corps en rotation de manière à lui imprimer un mouvement de même nature autour d'un autre axe, il en résultera un troisième mouvement autour d'un troisième axe dont la direction se rapprochera le plus de celui autour duquel se fait la rotation la plus rapide. Appliquons ce principe très simple à notre toupie, et nous allons voir immédiatement que la magie n'a absolument rien à revendiquer dans ces mouvements si bizarres au premier abord.

Lorsque après l'avoir lancée, nous la posons sur son pivot, son axe soutenu, horizontalement par exemple, par une de ses extrémités, nous avons en présence deux mouvements : d'abord celui que nous lui avons imprimé, et en second lieu le mouvement de rotation que tend à lui faire prendre la pesanteur, autour d'un second axe également horizontal, passant par le point d'appui et perpendiculaire au premier. Il en résultera donc une rotation autour d'un troisième axe placé entre les deux premiers, c'est-à-dire également dans le plan horizontal passant par le pivot. Mais

tandis que l'axe matériel de la toupie, pour obéir à ce mouvement résultant, ira prendre sa nouvelle position, la pesanteur continuant à agir, l'aura de nouveau déplacé et porté un peu plus loin, de sorte qu'en cherchant à atteindre cette position d'équilibre que la pesanteur fait constamment fuir devant lui, il tournera autour du point d'appui (fig. 157).

D'après ce que nous avons dit, on comprendra facilement que plus le mouvement imprimé à la toupie sera rapide, celui dû à la pesanteur restant constant, plus l'axe du mouvement résultant sera près de son axe matériel, et conséquemment plus le mouvement de rotation de l'ensemble autour du pivot, sera lent.

Ainsi s'explique facilement ce fait, en apparence incompréhensible, de la pesanteur, force verticale, produisant un mouvement de rotation dans un plan horizontal.

On explique avec la même facilité par des raisonnements analogues, et en tenant compte des résistances passives, pourquoi l'axe de la toupie s'incline peu à peu, à mesure que la vitesse propre de cette dernière décroît et qu'augmente la vitesse de rotation autour du point d'appui; pourquoi elle tombe immédiatement si un obstacle s'oppose à ce dernier mouvement; pourquoi enfin elle produit sur la main qui la tient, des réactions qui étonnent tant les personnes qui la saisissent pour la première fois.

On énonce souvent le principe que nous venons d'expliquer en disant que tout corps en rotation rapide, reste dans son plan et n'en peut être écarté que par une force considérable; c'est là une rédaction vicieuse. On doit énoncer ce principe de la manière suivante : Un corps en rotation rapide tend à rester dans son plan, c'est-à-dire que son axe tend à rester toujours parallèle à lui-même, et, au lieu d'obéir simplement à toute force tendant à changer sa direction, par suite de la combinaison des deux mouvements simultanés, il se produit un déplacement de l'axe, en général beaucoup plus faible et d'une autre nature que celui que produirait cette force sur le même corps au repos.

Une des plus belles applications qui aient été faites de cette théorie est due à M. Foucault. Le *gyroscope* qui porte son nom

est un disque pesant, dont l'axe est supporté par une suspension à la Cardan, de manière à pouvoir, quelle que soit la position de l'attache du système, conserver dans l'espace une direction constante. De sorte que si le disque est, au moyen d'un mécanisme spécial, mis en rotation rapide, on pourra faire subir à cette attache tous les déplacements possibles sans faire varier le plan dans lequel se meut le gyroscope. En supposant donc ce point d'attache fixé d'une manière relativement immobile, mais entraîné par le mouvement de la terre elle-même, le plan de rotation du disque seul ne participera pas entièrement à ce mouvement. Il sera bien, il est vrai, à moins d'être placé rigoureusement au pôle, entraîné dans le mouvement de translation général, mais il restera constamment parallèle à lui-même et semblera se déplacer par rapport aux objets environnants qui obéissent plus complètement que lui au mouvement de rotation du globe autour de ses pôles. Ainsi se trouve donc pris sur le fait et démontré *de visu* le mouvement de notre planète.

C'est en vertu du même principe que nous voyons se passer tous les jours, sous nos yeux, une foule de phénomènes avec lesquels nous sommes tellement familiarisés qu'ils ne nous frappent plus. Ainsi, c'est parce que le cerceau tend à rester dans son plan de rotation qu'il roule droit sans tomber ni dévier ; c'est pour la même raison que les toupies tournent verticalement sur leur pointe ou, lorsqu'elles sont inclinées, décrivent une série de cercles concentriques ; qu'un jongleur tient si facilement sur la pointe d'une baguette une assiette à laquelle il imprime adroitement un mouvement de rotation rapide, etc., etc.

C'est aussi grâce à cette propriété des corps tournants qu'on a pu se servir, dans l'artillerie, de projectiles cylindriques ou coniques. En effet, les rayures héliçoïdales du canon de l'arme faisant tourner très rapidement ces projectiles sur eux-mêmes, leur axe conserve une direction invariable pendant tout leur parcours et ils viennent frapper le but de leur pointe. Sans ce mouvement de rotation, ils pirouetteraient irrégulièrement dans l'espace, et, outre que toute précision dans le tir serait impossible, la résistance

de l'air diminuerait leur portée dans une énorme proportion.

Le gyroscope, instrument aujourd'hui commun et familier à tous les savants, n'en est pas moins l'objet d'un problème dont on n'a pas encore trouvé la solution. On l'a en effet surnommé le paradoxe de la mécanique; car, bien qu'il dépende de la gravitation, cette gravitation semble néanmoins lui être indifférente.

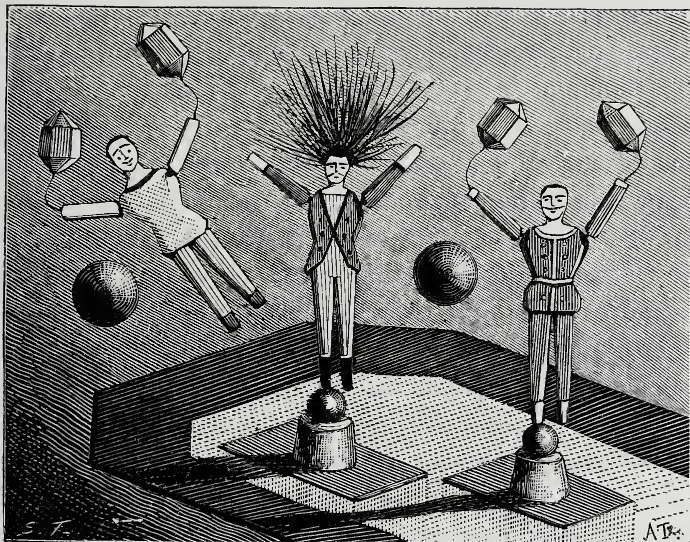


Fig. 158. — Les pantins de sureau de l'électrophore d'ébonite de M. J. Peiffer. (Page 225.

L'ÉLECTROPHORE PEIFFER.

Il nous paraît intéressant de signaler un charmant petit jouet, qui obtient un très grand succès auprès des enfants, et qui a le mérite incontestable de les initier de bonne heure à tous les principaux phénomènes de l'électricité statique, de leur apprendre la physique en s'amusant. C'est un petit électrophore imaginé par M. J. Peiffer, et réduit à un tel degré de simplicité, qu'il consiste uniquement en une mince plaque d'ébonite, de 1 millimètre d'épaisseur, et de la grandeur d'une grande feuille de pa-

pier à lettres. Le disque de bois étamé de l'électrophore classique qui se trouve décrit dans tous les traités de physique est remplacé par une petite feuille d'étain de la dimension d'une carte à jouer, et collée sur une des faces de la plaque d'ébonite.

L'électrophore d'ébonite produit l'électricité avec une remarquable facilité. Vous le posez à plat sur une table de bois, vous le frottez successivement sur ses deux faces avec la main bien ouverte ; si vous le soulevez en le tenant de la main gauche, et si vous approchez la main droite de la feuille d'étain collée sur une de ses faces, vous en ferez jaillir une étincelle de 1 à 2 centimètres de long.

L'électrophore d'ébonite est complété par une série de petits pantins de sureau, qui permettent de manifester d'une façon très amusante les phénomènes d'attraction ou de répulsion électriques. Électrisez le plateau d'ébonite, placez sur la feuille d'étain les trois petits pantins de sureau qui se joignent à l'appareil, soulevez le plateau pour l'isoler de son appui. Voici un petit personnage qui lève les bras vers le ciel, en voici un second, dont les cheveux de soie se hérissent, en voilà un troisième plus léger que les autres qui s'élance comme un clown et qui s'échappe en voltigeant, avec les deux petites balles de sureau qui ont été également placées à côté de lui. Nous avons groupé en une seule figure les trois petits personnages, mais on les fait habituellement fonctionner isolément (fig. 158).

M. Peiffer a réuni dans une boîte tous les accessoires connus d'une machine électrique : une petite bouteille de Leyde en miniature, un carillon électrique, le pistolet de Volta, le carreau étincelant, un tube de Geissler, etc. ; toutes ces expériences sont réduites à leur plus simple expression et les appareils qu'elles nécessitent tiennent dans une boîte de carton ; ils sont rangés à côté de l'électrophore d'ébonite qui se trouve ainsi remplacer une machine électrique encombrante et d'un fonctionnement délicat.

M. J. Peiffer complète enfin son petit cabinet portatif de physique électrique par une brochure très substantielle qui sert

de guide au jeune physicien et lui enseigne les premières notions de la science.

« Il est facile de comprendre, dit M. Peiffer dans sa préface, combien on peut et combien on doit, pour l'instruction de l'enfant, tirer parti de ses facultés naissantes. Voulez-vous les utiliser fructueusement ? Mettez-lui entre les mains des jouets qui, sous une forme attrayante, le familiarisent de bonne heure et sans fatigue avec des sciences dont plus tard la connaissance lui sera absolument indispensable, et cela en l'amusant bien plus qu'avec des joujoux qui depuis si longtemps sont toujours les mêmes. »

Voilà de bonnes et saines paroles auxquelles nous nous associons pleinement. Oui, la science bien comprise, bien enseignée, peut être mise à la portée de l'enfance, elle doit animer les jouets, et servir à la culture des jeunes intelligences, comme plus tard elle contribue à assurer le développement des travaux de l'homme fait.

Après avoir décrit la toupie magique et l'électrophore, nous allons signaler deux ingénieux appareils dus à un habile constructeur, M. Salleron.

PETIT BATEAU A VAPEUR ATMOSPHÉRIQUE.

Ce petit bateau (fig. 159), qui a les proportions d'un jouet d'enfant, est une application très ingénieuse, sinon très pratique, de la légèreté spécifique de l'air agissant comme force propulsive. La vapeur n'y joue en réalité qu'un rôle secondaire, qui consiste à entraîner par aspiration l'air destiné à faire mouvoir le bateau. L'appareil représenté en coupe (fig. 160) est, comme on peut en juger, d'une extrême simplicité. Une petite chaudière cylindrique C, surmontée d'un tube à orifice capillaire, est posée sur deux supports au-dessus d'une lampe à alcool, de telle sorte que le bec par lequel sort la vapeur se trouve en face de l'ouverture du tuyau T. Ce tuyau va déboucher à l'arrière du bateau sous une rigole inclinée R. La vapeur chassée par le tube T entraîne

avec elle une certaine quantité d'air, lequel, conduit sous l'eau, remonte le long du plan incliné que forme le fond de la rigole, pousse le bateau en avant et sort de l'eau en bouillonnant. Le navire prend a ssitôt une vitesse considérable en laissant derrière lui un long sillage.

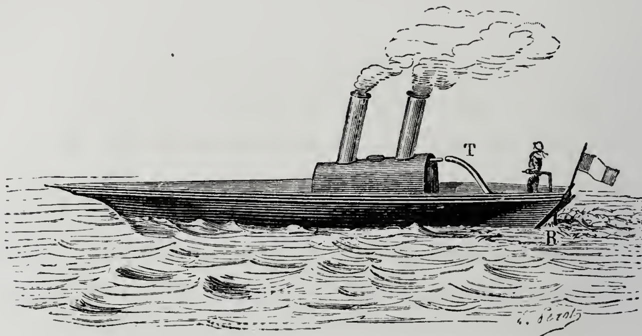


Fig. 159. — Petit bateau à vapeur atmosphérique. (Page 227.)

On le voit, il n'est ici aucun organe mécanique susceptible d'absorber de la force vive ni de diminuer l'action de la vapeur en déterminant sa condensation.

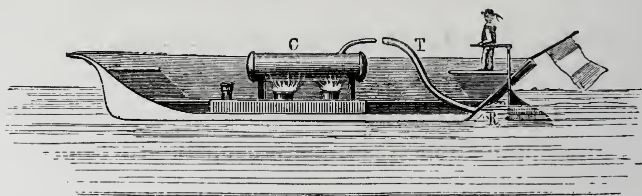


Fig. 160. — Le même représenté en coupe. (Page 227.)

Calculons maintenant la force engendrée par cet appareil. On sait qu'un litre d'eau porté à l'ébullition donne 1,700 fois son volume, ou 1,700 litres de vapeur en consommant 166 grammes de houille. La vapeur, en sortant par l'orifice de la chaudière avec une vitesse considérable, entraîne au moins 10 fois son volume, ou 17,000 litres d'air, qui, chassés dans l'eau, y prennent une force ascensionnelle égale à la différence des

densités de l'eau et de l'air, ou, à peu de chose près, au poids de l'eau déplacée (principe d'Archimède). Donc dans un litre d'eau transformé en 1,700 litres de vapeur, lesquels entraînent dans l'eau $1{,}700 \times 10 = 17{,}000$ litres d'air, on développe une force représentée par 34,000 kilogrammes qui

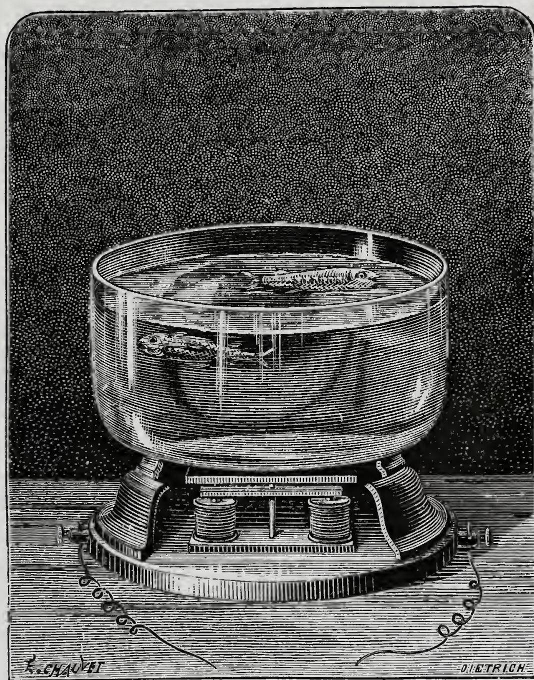


Fig. 161. — Expérience des poissons magiques mis en mouvement par l'électricité. (Page 230.)

n'a coûté que 166 grammes de charbon.

A la vérité, en raison de la position inclinée de la rigole sur laquelle agit la pression de l'air et des dimensions restreintes qu'on peut lui donner, la quantité de force employée à la propulsion du bateau n'est qu'une fraction de la force totale produite.

La résistance de traction augmente d'ailleurs avec la grandeur du navire, et les dimensions du plan incliné ne peuvent

être indéfiniment augmentées; il en résulte que l'action propulsive réelle est bientôt suffisante, de sorte que l'invention n'est pas, dans son état actuel, applicable sur une grande échelle à la navigation.

La supériorité de ce mécanisme sur la machine à vapeur n'est donc pas démontrée; aussi ne parlons-nous du petit bateau atmosphérique que pour prouver expérimentalement qu'il est possible d'obtenir, au moyen de générateurs peu puissants et d'appareils mécaniques extrêmement simples, des effets dynamiques d'une grande énergie et susceptibles de rendre plus de service qu'on ne le croit communément.

LES POISSONS MAGIQUES.

Un ingénieux physicien, M. de Combettes, ingénieur civil à Paris, s'est attaché à construire un grand nombre de jouets et appareils scientifiques à l'usage de la jeunesse, parmi lesquels nous signalerons la curieuse expérience que nous représentons ci-contre.

Un bocal cylindrique rempli d'eau tient en suspension des poissons de fer-blanc, analogues à ceux que les enfants promènent à la surface de l'eau à l'aide d'un aimant. Mais ici le mécanisme est caché ; à la volonté de l'opérateur, les poissons accomplissent un mouvement de rotation, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Le secret de cette expérience s'explique facilement de lui-même par la figure 161.

Dans le socle de bois qui supporte le bocal, est caché un petit moteur magnéto-électrique qui agit sur le fer doux dont les poissons-flotteurs sont munis. Quand on fait passer le courant, le petit moteur de M. de Combettes se met à tourner et entraîne avec lui les poissons qui nagent dans le liquide. Le mouvement giratoire est changé à volonté, à l'aide d'un commutateur.

Nous avons vu fonctionner cet appareil dont le mécanisme produit une illusion très intéressante.

BIJOUX ÉLECTRIQUES ANIMÉS. — JOUETS DIVERS.

M. Trouvé a su tirer un ingénieux parti de l'électricité pour en obtenir des effets nouveaux et souvent imprévus. Nous parlerons à nos lecteurs des charmants bijoux électriques qui lui sont dus. Décrivons-en quelques-uns.

La tête de mort placée à droite de l'oiseau sur notre figure 163 (page 233) est en or avec peinture sur émail, elle a des yeux en diamant et une mâchoire articulée. C'est un bijou qui se porte à la cravate.

Le lapin, aussi d'or, placé à la gauche de l'oiseau, est assis sur sa queue et tient dans ses pattes de devant deux petites baguettes, avec lesquelles il exécute un roulement sur un timbre microscopique d'or. Encore un bijou de cravate.

Un fil conducteur invisible relie l'objet avec la petite pile hermétique de la grosseur d'une cigarette et qui se cache dans la poche du gilet (fig. 162). Supposez que vous portiez un de ces bijoux sous le menton; si quelqu'un y jette les yeux, vous glissez un doigt dans la poche de votre gilet, vous faites fonctionner la pile, aussitôt la tête de mort roule des yeux étincelants et grince des dents, ou bien le lapin se met à travailler comme un timbalier de l'Opéra.

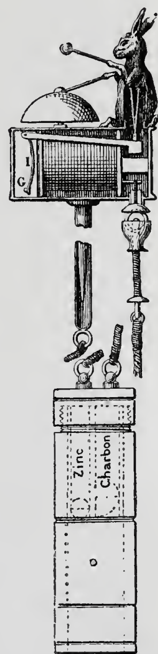


Fig. 162. — Coupe d'un bijou électrique et de la pile qui le met en mouvement. (Page 231.)

La pièce capitale, l'oiseau en diamant que nous avons associé dans notre gravure avec la tête de mort et le lapin, n'est plus un bijou de cravate, mais une riche parure animée (fig. 163).

Cet objet d'art appartient à Mme de Metternich. Quand une dame le porte dans sa chevelure, elle peut à volonté faire battre des ailes à l'oiseau de diamant, par l'intermédiaire d'un fil caché, que personne ne peut voir.

Nous devons à présent donner une courte description de la

pile hermétique qui met en action les bijoux dont nous venons de présenter un aperçu, et que M. Trouvé a appliquée à un grand nombre d'appareils spéciaux dont se servent les médecins.

Cette pile est formée d'un couple de zinc et de charbon renfermé dans un étui de caoutchouc durci (ébonite) fermant hermétiquement. Le zinc et le charbon n'occupent que la moitié supérieure de l'étui; l'autre moitié contient le liquide excitateur.

Tant que l'étui conserve sa position naturelle, le couvercle en haut, le fond en bas, l'élément ne plonge pas dans le liquide : il n'y a pas production d'électricité, ni dépense par conséquent. Mais dès que l'étui est renversé ou placé horizontalement, la réaction chimique qui engendre le courant a lieu, et se continue tant que l'étui conserve cette position : au contraire, en redressant la pile, toute fonction cesse.

LA MÉCANIQUE DES JOUETS.

Nous avons eu l'occasion de visiter un jour une grande fabrique de jouets (il en existe quelques-unes à Paris qui ont l'importance d'établissements industriels), nous en sommes sorti tout rempli d'admiration pour ces artistes ignorés, ces inventeurs ingénieux et obscurs, qui confectionnent les poupées parlantes, façonnent les lapins savants et construisent ces innombrables objets qui ont toujours le privilège de faire la joie des enfants. Voici la description de quelques-uns d'entre eux.

La figure 164 représente une hélice de papier mousseline très léger, montée sur un châssis et un cadre circulaire également confectionnés avec un papier très mince. Cette hélice peut être maintenue en l'air sous l'influence d'un courant d'air ascendant habilement produit par un petit écran. Le système se met alors à tourner rapidement.

De très jolis jouets consistent encore en petits appareils mécaniques mis en mouvement par des ressorts de caoutchouc. Le vélocipédiste de la figure 165 tourne autour d'un pivot central, quand on a tendu préalablement par torsion le ruban de caout-

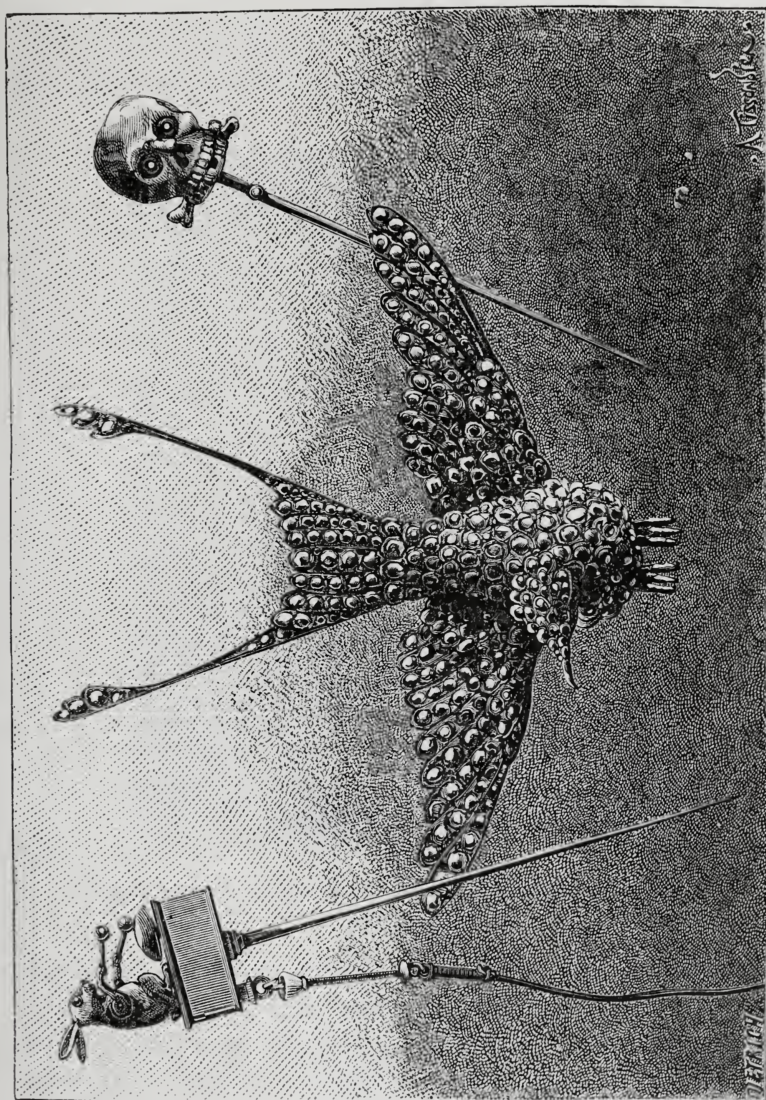


Fig. 163. — Bijou électrique de M. Trouvé. (Page 231.)

chouc auquel il se trouve adapté comme le montre notre dessin. Il y a là un exemple intéressant de l'emmagasinement de la force par un ressort.

Le *poisson-nageur* (fig. 166), qui se meut dans l'eau, d'une façon remarquable, par le mouvement de va-et-vient de sa queue,

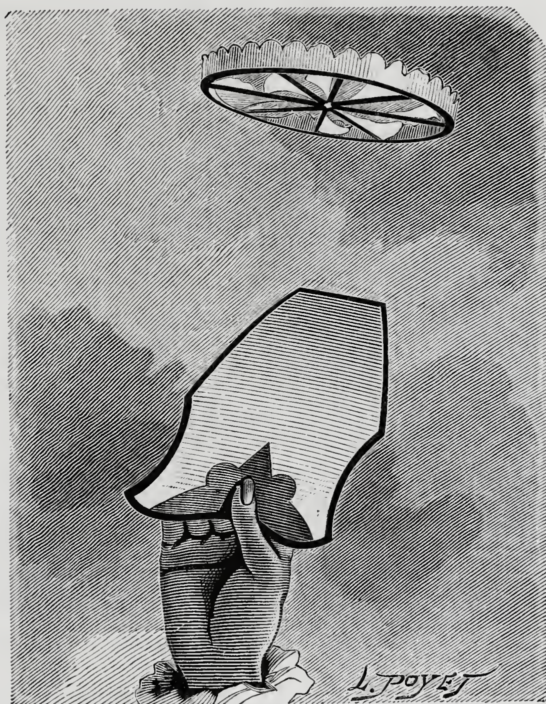


Fig. 164. — Spirale de papier mise en rotation à l'aide d'un écran. (Page 232.)

fonctionne d'après le même principe. On tourne le ressort de caoutchouc pour le faire marcher; mais ici, le caoutchouc est adapté à une roue dentée qui, à la façon d'un échappement d'horlogerie, imprime un mouvement de va-et-vient à la queue mobile autour d'un axe. Ces détails de construction sont utiles à examiner; il faudrait les faire connaître et les expliquer aux enfants, qui sont curieux naturellement, et qui n'ont pas toujours

tort de casser leurs jouets pour *voir ce qu'il y a dedans.* Ce sont parfois alors de petits savants, qui ont recours à la méthode expérimentale et qui *font l'analyse* de l'objet qu'ils veulent étudier. Il ne resterait plus qu'à leur apprendre à en *faire la synthèse,* c'est-à-dire à le reconstituer à l'aide de ses différentes parties séparées.

Parmi les jouets les plus amusants qui aient été imaginés dans

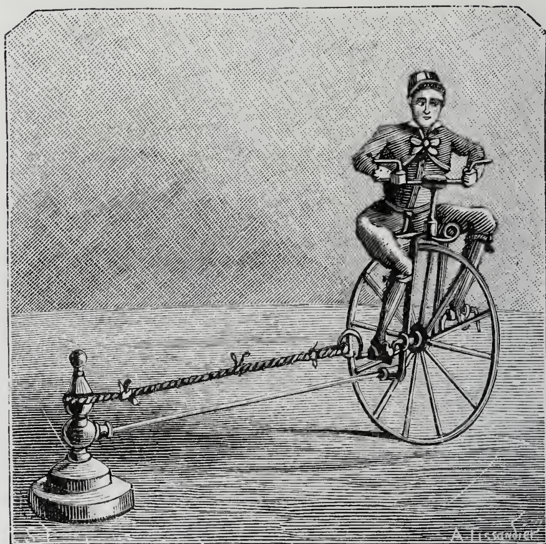


Fig. 165. — Vélocipède mû par un ressort en caoutchouc. (Page 232.)

ces derniers temps, nous citerons le petit singe représenté un peu plus loin (fig. 167).

L'inventeur anonyme et ingénieux de ce petit pantin a réalisé, d'une façon très simple, la plus grande partie des mouvements réels effectués par un homme montant à la corde à la force de ses jambes. On n'était pas encore arrivé, à notre connaissance, à faire exécuter ce mouvement à un pantin sans le lier d'une façon plus ou moins rigide à une cause de mouvement extérieure. Ici le petit bonhomme est complètement indépendant : une corde et le pantin, voilà tout le jouet. Il suffit de suspendre la

corde à un point fixe — en la tenant de la main gauche, par exemple, — et d'exercer des tractions successives à la partie inférieure de cette corde avec la main droite, pour provoquer aussitôt le mouvement ascendant du pantin. Malgré la complexité des mouvements produits, le système est très simple, car il ne comporte qu'une seule articulation en D permettant le mouvement des jambes. Une sorte de pince V, dans laquelle vient se

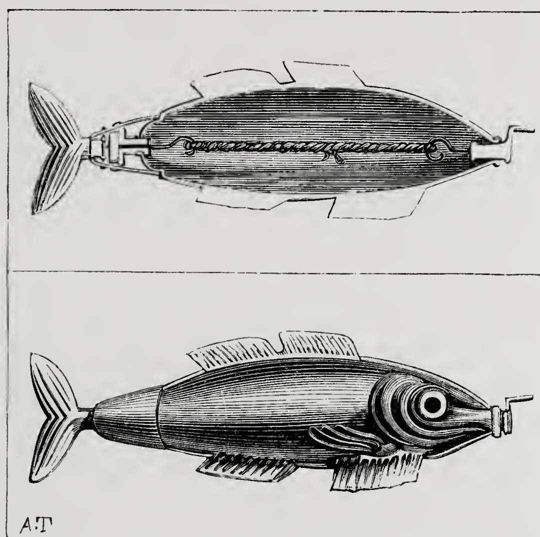


Fig. 166. — Poisson nageur, et détail du mécanisme. (Page 235.)

fixer la corde à certains instants, simule la préhension par les mains. Le mouvement de rappel des jambes vers le corps est effectué par un petit caoutchouc R (n° 2) fixé à la poitrine d'une part et au milieu de la cuisse d'autre part.

Il est maintenant facile de s'expliquer le mécanisme qui produit l'ascension du petit pantin. Supposons d'abord la cordelette suspendue à un point fixe, le pantin à la partie inférieure.

On peut décomposer le cycle complet des opérations en trois phases :

1re *phase.* — Le pantin est ramené sur lui-même comme le re-

présente le n° 1, les jambes relevées contre le corps sous l'action du caoutchouc. On voit qu'en exerçant une traction sur la corde, les jambes vont pivoter autour des points A et B sous l'action de cette traction; à la fin de ce mouvement, le pantin prendra la position représentée n° 2, le corps ayant glissé le long de la corde qu'il ne peut quitter à cause de la cheville C, qui lui permet seulement de coulisser le long de la corde. C'est le mouvement d'un grimpeur se dressant sur ses jambes. La fourchette V vient pincer la corde à la fin de la course, imitant le mouvement de préhension des mains.

2e *phase*. — En lâchant la corde, le pantin reste suspendu par V; les jambes, n'étant plus tendues, se replient sur elles-mêmes sous l'action du caoutchouc et prennent la position de la figure 3. C'est le mouvement du grimpeur suspendu par ses poignets et relevant les jambes.

3e *phase*. — On exerce une nouvelle traction sur la corde, qui échappe de la fourchette V et reprend la position de la figure 1, mouvement équivalent à celui du grimpeur qui lâcherait les mains pour pouvoir relever son corps en se tenant par les jarrets serrés contre la corde.

En continuant à exercer la traction sur la corde, les jambes et le corps se relèvent comme dans la première phase, et l'action se continue par mouvements successifs jusqu'à l'extrémité de la corde.

Il est important d'exercer la traction dans la première phase jusqu'à ce que la corde vienne se pincer en V : sans cette précaution, le pantin glisserait le long de la corde jusqu'à la partie inférieure, en vertu de son poids, dès que l'on viendrait à cesser la traction, parce qu'il se trouverait dans le cas d'un homme desserrant les jarrets sans avoir appréhendé la corde avec les mains.

On a modifié l'aspect du petit singe grimpeur sans en changer le principe, et dans ces derniers temps on en a fait un pompier qui monte à la corde, comme cela est figuré à droite de la planche III (n° 4).



La Mécanique des Jouets.

Nous avons réuni dans cette planche quelques autres jouets intéressants qui pourraient servir à l'étude de la mécanique. En haut de la planche, on a dessiné des forgerons infatigables qui frappent l'enclume à tour de rôle (n° 1); le mouvement leur est communiqué par la torsion d'une lanière en caoutchouc cachée dans le cylindre de fer-blanc qui sert de support. Le petit mousquetaire figuré en 2 descend lentement et par petites saccades d'une corde lisse : l'explication du système est beaucoup moins facile que le jouet n'est simple. Le personnage porte fixé sur sa poitrine un petit fil de fer enroulé en spirale serrée, à l'intérieur de laquelle passe une ficelle tendue verticalement entre les deux mains de l'opérateur. Le poids du mannequin tend à coincer le bonhomme sur la ficelle, tandis que l'élasticité de la spirale tend à le redresser à chaque coincement; ces deux actions antagonistes successives produisent une série de glissements et de coincements élémentaires qui donnent à la descente du bonhomme une allure lente et saccadée.

La petite laitière figurée en 3 bat le beurre avec une rare énergie; la tige verticale qu'elle tient entre les mains est fixée à un piston disposé dans un cylindre relié lui-même à une poire de caoutchouc. En pressant cette poire, le piston est soulevé; en cessant de presser, le piston s'abaisse et ainsi de suite alternativement.

La locomotive représentée à la partie inférieure de la planche III (n° 5) peut servir à mettre en relief d'une façon remarquable les principes de l'inertie et de la puissance vive.

On sait que, pour communiquer à une masse donnée une vitesse donnée, il faut dépenser une certaine quantité d'*énergie*, sous forme de travail mécanique, énergie proportionnelle à la masse du corps et au carré de la vitesse qu'on lui imprime. On sait aussi que les corps animés de cette vitesse ne reviennent à l'état de repos qu'après avoir dépensé sous une forme quelconque cette quantité de *puissance vive* — c'est le nom donné à l'énergie que possède le corps en mouvement du fait même de ce mouvement, — soit par des frottements, soit en effectuant un autre tra-

vail mécanique, etc. C'est en vertu de la puissance vive que roulent les billes de billard, que chemine le boulet de canon et que tournent les toupies et les gyroscopes. Le mouvement de ces derniers n'a même une si grande durée que parce que les frottements sont réduits à un minimum, qu'ils tournent à une grande vitesse et possèdent, par suite, une grande

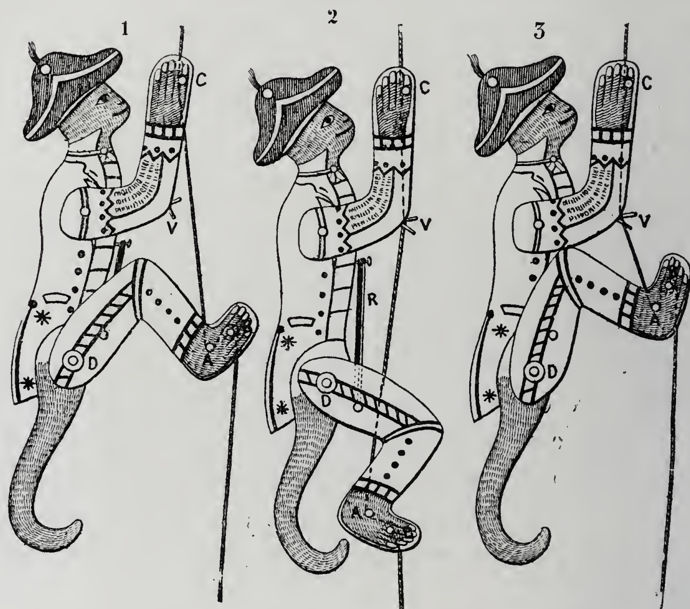


Fig. 167. — Un jouet mécanique. Petit pantin montant à la corde. (Page 236.)

1. Position de départ. En exerçant une traction sur la corde, les jambes pivotent autour de B, et à la fin du mouvement le pantin a la position 2.

2. Fin du mouvement d'ascension. La corde vient se pincer en V. On cesse de tirer, le caoutchouc R ramène les jambes (fig. 3).

3. Pantin suspendu par V, les jambes ramenées au corps. En tirant sur la corde, elle quitte le V et nous revenons à la fig. 1 : le cycle est complet.

quantité de puissance vive ne s'éteignant que très lentement.

Nous pourrons utiliser cette puissance vive à mettre en mouvement une roue par un système d'entraînement quelconque, et finalement produire la progression de l'ensemble, comme dans le petit appareil représenté pl. III (n° 5). Il se compose en principe

d'un volant auquel on imprime un rapide mouvement de rotation à l'aide d'une ficelle roulée sur son axe et tirée ensuite vivement, comme dans les toupies ronflantes ou les toupies magiques. L'axe qui supporte ce volant vient s'appliquer sur les deux roues d'arrière du véhicule; la jante de chacune de ces



Fig. 168. — Curieuse manière de déboucher une bouteille. (Page 242.

roues est munie d'une garniture en caoutchouc pour augmenter l'adhérence entre l'axe et la roue. L'axe ayant environ un millimètre de diamètre, et la roue environ 50 millimètres, il en résulte que, pour un tour du volant, les roues d'arrière se trouvent entraînées d'environ 1/50 de tour, mais la vitesse initiale du volant étant très grande, les roues se trouvent entraînées assez rapidement, et lorsqu'on pose le système à terre, sa transla-

tion se produit aussitôt avec une vitesse régulièrement décroissante, au fur et à mesure que la rotation, et par suite la puissance vive du volant, diminuent. Sur un parquet bien uni, il est cependant possible de faire parcourir à la machine de 20 à 30 mètres avant son arrêt. Inutile d'ajouter que le corps de la chaudière et la cheminée ne sont là que pour la forme ; les roues d'arrière seules sont motrices, les roues d'avant ne sont que des roues porteuses. Ce petit jouet, d'un prix fort modique, peut donc être utilisé à montrer les principales lois de la mécanique et à prouver une fois de plus le principe de la conservation de l'énergie.

A défaut de jouets tout fabriqués, il est facile de divertir la jeunesse à l'aide de bien des objets usuels, comme on l'a vu précédemment dans le chapitre de la *Physique sans appareils*. Voici par exemple une amusante manière de déboucher une bouteille. Vous prenez une bouteille de vin, de bière, etc., bien bouchée ; à l'aide d'une serviette vous formez un tampon que vous appliquez avec la main à la partie inférieure de la bouteille. Vous frappez fort et à coups redoublés contre un mur (fig. 168) ; en vertu du principe de l'inertie, le liquide chasse le bouchon, quelquefois même, s'il s'agit de bière ou d'eau gazeuse surtout, avec tant de force, qu'une partie du liquide jaillit en même temps, et à la joie de l'opérateur, inonde les curieux spectateurs.

A Saint-Galmier, on nous a affirmé qu'il n'était pas rare de voir, dans les hôtels de la localité, les garçons déboucher ainsi les bouteilles d'eau gazeuse, en les frappant verticalement de haut en bas contre le plancher. De même que M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir, ils ne se doutent assurément pas qu'ils démontrent ainsi un principe de physique.

CHAPITRE VII

LA MAISON D'UN AMATEUR DE SCIENCES

Au commencement du dix-septième siècle, il existait à Lyon une maison remarquable, construite par un homme d'un haut mérite, Nicolas Grollier de Servière, et toute remplie des plus remarquables curiosités scientifiques de l'époque. M. de Servière appartenait à une des plus anciennes familles de la province : son grand-oncle, Jean Grollier, vicomte d'Aguisy, avait constitué sous le règne de François Ier la plus belle bibliothèque qui fût en France ; son père, Antoine Grollier, baron de Servière, s'était fait connaître par son dévouement au roi Henri IV et par la distinction de son esprit. M. de Servière avait hérité de la fortune et de l'intelligence de ses ancêtres ; après une brillante carrière militaire, il consacra toutes les ressources de son esprit à organiser une maison modèle, où se trouvaient réunis les appareils les plus ingénieux, où l'on voyait des galeries toutes remplies de modèles de machines, d'horloges remarquables et de systèmes propres à assurer le confortable et la commodité de la vie domestique. Le cabinet de M. de Servière acquit une grande réputation dans toute la France et la description en fut publiée plus tard d'une façon complète par son petit-fils [1].

[1] *Description du cabinet de M. Grollier de Servière.* — 1 vol. in-4° avec des figures en taille-douce. — A Lyon, 1719.

« L'on voit dans ce cabinet, dit l'auteur de cet intéressant ouvrage, plusieurs pièces de tour en ivoire qui sont des chefs-d'œuvre inimitables de l'art ; des horloges extraordinaires, des machines de différentes espèces, pour des élévations d'eau, pour

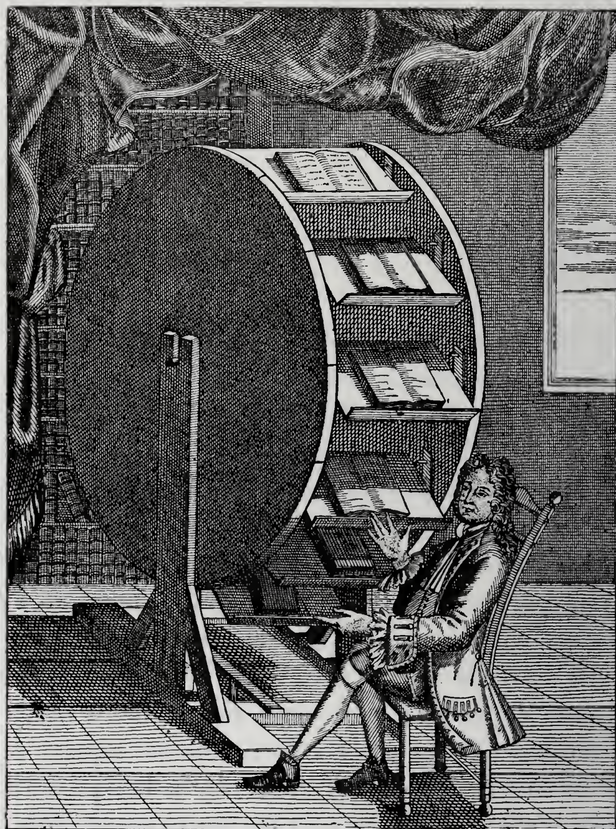


Fig. 169. — Le pupitre de M. de Servière. (Page 244.)

la construction des ponts, et enfin pour tout ce qui peut être utile et commode au public ou aux particuliers. »

Si l'on veut se rendre compte de l'ingéniosité de M. de Servière dans ce dernier sens, il suffira de donner la description du pupitre qu'il fit construire (fig. 169), et où les tablettes diffé-

rentes disposées sur la circonférence d'une grande roue supportaient les livres ou les papiers de différente nature.

« Avant que de travailler, vous rangez sur les pupitres tous les livres dont vous jugez que vous aurez besoin. Ensuite, vous étant placé dans le fauteuil, vous lisez le livre qui se présente d'abord à vous ; lorsque vous en voulez un autre, vous le faites facilement venir à la place du premier, en tournant la grande roue avec les mains. »

En lisant cette description du curieux cabinet de M. de Servière, l'idée nous est venue de signaler ici quelques-uns des objets pratiques et utiles que l'on pourrait grouper dans la maison d'un amateur de sciences à notre époque.

Nous commencerons par décrire quelques appareils relatifs au travail du bureau.

LA MACHINE A ÉCRIRE.

Cette machine, aussi remarquable par la simplicité de son mécanisme que par la facilité et la rapidité de son emploi, a été construite par Remington, l'ingénieur américain bien connu, auquel on doit le fusil qui porte son nom. Elle se confectionne dans la grande fabrique que cet habile inventeur a organisée pour la fabrication des fusils et des machines à coudre.

La machine à écrire comprend d'abord un clavier dont on a représenté la disposition sur la figure 170. Quarante-quatre touches portent nettement gravés : 1° les chiffres de 2 à 9 (l'ı et l'o remplacent le 1 et le zéro) ; 2° les lettres de l'alphabet, disposées dans un ordre combiné pour faciliter le maniement de l'appareil; 3° les accents aigu, grave, circonflexe, d'interrogation, le tréma, l'apostrophe et la cédille. A la partie inférieure du clavier est une règle de bois sur laquelle on doit frapper pour obtenir la séparation d'un mot à l'autre.

Dans l'intérieur de l'appareil, chacune des lettres qui doit s'imprimer sur le papier est soudée à l'extrémité d'un petit marteau métallique. Les 44 marteaux correspondant, par l'intermé-

diaire de tiges et de leviers articulés, aux 44 touches du clavier, sont disposés autour de la circonférence d'un même cercle.

Si l'on pose le doigt, par exemple, sur la touche A du clavier, le marteau intérieur portant la lettre A est soulevé, la lettre est ainsi élevée jusqu'au centre du cercle. Par suite de leur disposition circulaire, toutes les lettres sont amenées, par le contact de leurs touches correspondantes, au centre du cercle, c'est-à-dire au même point.

Le papier sur lequel on veut écrire est placé, comme l'indique notre gravure, autour d'un cylindre monté sur un chariot que l'on voit à la partie supérieure de l'appareil.

La lettre soulevée par la légère pression du doigt sur la touche correspondante vient frapper le papier appliqué contre le cylindre, mais entre cette lettre et le papier se trouve interposé un ruban imbibé d'une encre spéciale. La lettre, en relief, comme les caractères typographiques, agit à la façon d'un coin, et s'imprime, puisqu'elle n'établit une pression du ruban encré sur le papier, que suivant son relief.

Le chariot porteur du papier est monté sur des roulettes qui glissent dans les rainures. Par l'intermédiaire d'une cordelette, il tend toujours à être entraîné de droite à gauche sous l'influence d'un ressort qui le commande. Il ne reste immobile que parce qu'il est retenu par un taquet logé dans une crémaillère qui lui est adaptée à la partie postérieure.

Au moment où une lettre s'imprime, la crémaillère est déclanchée, le chariot sollicité par le ressort se déplace aussitôt de droite à gauche, et d'une très petite longueur, précisément égale à la largeur d'une lettre. La lettre suivante peut donc venir s'imprimer à côté de celle qui vient d'être soulevée. Toutes les lettres sont soudées de telle façon, que leur axe est orienté vers le centre commun où elles sont amenées; elles s'impriment successivement les unes à côté des autres. Le chariot porteur du papier se déplace au fur et à mesure de leur contact et de leur impression. Quand il arrive à l'extrémité de sa course, c'est-à-dire quand la ligne est terminée, un petit timbre se fait enten-

dre et avertit le manipulateur. Celui-ci abaisse un levier placé à la droite de l'appareil. Ce levier, par l'intermédiaire d'une cordelette, fait glisser le chariot dans sa rainure, et le ramène à la droite du système, dans sa position primitive. Pendant le trajet, qui s'exécute promptement, grâce à un mécanisme très simple, un mouvement de rotation est imprimé au cylindre ; il tourne sur son axe avec le papier qu'il soutient et sa surface se déplace ainsi d'une longueur égale à celle qui doit séparer une ligne de la suivante.

En définitive, l'opération consiste à toucher des doigts, les deux mains devant servir à la fois, les touches dont on veut successivement imprimer les lettres.

Entre chaque mot, on doit frapper la règle inférieure du clavier, qui laisse en blanc, sur le papier, l'intervalle qui les sépare. Aussitôt que l'on entend la sonnerie, il faut abaisser le levier placé à droite de l'instrument. Si le mot que l'on est en ce moment en train d'écrire n'est pas terminé, on peut tracer encore une ou deux lettres pour le finir, ou s'il est trop long, mettre le doigt sur le trait d'union, qui permet de continuer le mot à la ligne suivante.

Le papier sur lequel on écrit ne peut pas dépasser en largeur la hauteur du cylindre qui l'entraîne. Mais il peut avoir une largeur inférieure ; une enveloppe, une carte postale, etc., s'adaptent très bien autour du cylindre, grâce à l'emploi d'une pièce métallique mobile qui leur sert de guide. Si la largeur du papier est limitée, sa longueur ne l'est pas, et l'écriture pourrait être imprimée sur un papier sans fin.

Le cylindre du chariot est formé d'une pâte de gutta-percha assez dure, qui facilite la bonne impression des lettres.

Il est à présent nécessaire, pour compléter notre description, de parler du mécanisme qui concerne le ruban imbibé d'encre. Ce ruban qui est, comme nous l'avons dit, placé au-dessous du papier, et contre lequel vient frapper la lettre soulevée par la touche, suit le chariot dans son mouvement ; il se déroule constamment, de telle façon que deux lettres successives ne le frap-

pent jamais au même point. En se déroulant ainsi, le ruban passe d'un encrier de droite dans un encrier de gauche, identique au premier. Quand il s'est déroulé entièrement, il suffit de



Fig. 170. — Machine à écrire américaine (1/4 de grandeur d'exécution). (Page 245.)

changer la disposition d'une vis pour lui faire faire une marche en sens inverse, c'est-à-dire pour le faire passer de l'encrier de droite dans celui de gauche. Le déroulement du ruban en un

mouvement alternatif de droite à gauche et de gauche à droite peut en quelque sorte s'opérer indéfiniment.

L'impression est faite avec de l'encre à copier ; on peut prendre deux ou trois empreintes de la page écrite, à la presse à copier.

Sur le devant de l'appareil est une échelle graduée, le long de laquelle glisse le chariot. Elle sert à prendre des points de repère pour le cas où l'on aurait à faire des colonnes de chiffres.

L'écriture tracée par cette ingénieuse machine est analogue

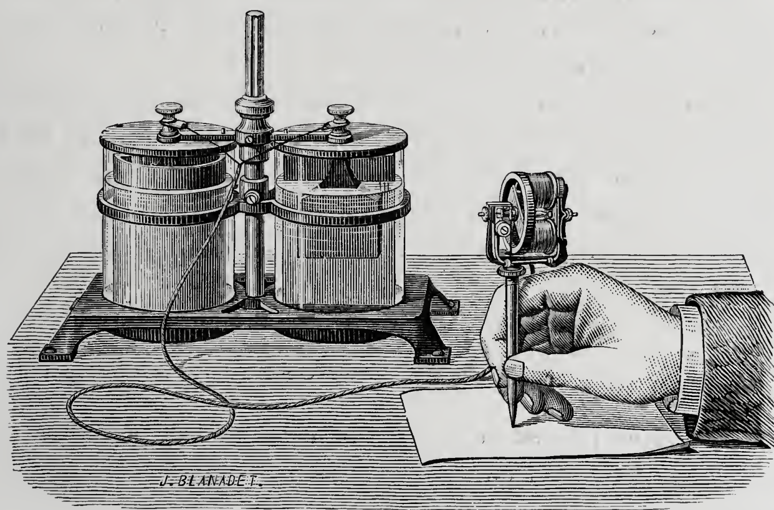


Fig. 171. — Plume électrique d'Edison, avec sa pile. (Page 250.)

à celle que l'on obtient en typographie avec les lettres dites *capitales*.

Pour écrire vite avec la machine, il faut s'exercer patiemment, pendant quelques jours, à bien connaître le clavier, afin de n'avoir plus à chercher les lettres.

Au bout de deux ou trois jours de travail, on commence déjà à se servir de l'appareil sans difficulté ; quinze jours suffisent pour arriver à écrire avec la vitesse ordinaire de la plume. Enfin, après un plus long usage, on dépasse de beaucoup cette vitesse. J'ai vu une jeune demoiselle anglaise qui arrivait, avec la ma-

chine américaine, à tracer plus de 90 mots à la minute. Si le lecteur veut faire l'expérience, il pourra s'assurer qu'avec la plume il n'est guère possible d'écrire lisiblement plus de 40 mots dans cet espace de temps.

La machine à écrire offre donc cet avantage de pouvoir gagner beaucoup de temps en ce qui concerne le mécanisme matériel de l'écriture. Son emploi ne tardera pas à se généraliser dans les bureaux et les administrations.

Elle est en outre d'un usage très précieux pour les personnes qui ont une écriture peu lisible et disgracieuse, et pour celles qui ont la crampe de l'écrivain.

Elle se signale enfin comme un véritable bienfait pour les aveugles, qui arrivent à s'en servir promptement, comme l'ont prouvé déjà un grand nombre d'exemples en Angleterre et aux États-Unis. Pour tous ceux qui s'intéressent aux progrès de la mécanique et aux appareils ingénieux, elle sera d'un très agréable emploi.

LA PLUME ÉLECTRIQUE.

Cet appareil permet de tracer sur le papier un trait discontinu formé de petits trous très rapprochés percés dans le papier. Ces trous sont faits par une pointe d'acier très fine, qui alternativement sort et rentre dans un tube qu'on tient à la main, et qui ressemble à un porte-crayon de métal. Cette pointe est animée d'un mouvement de va-et-vient très rapide ; elle fait 180 battements par seconde quand l'appareil tourne vite. Grâce à des conditions de rapidité très grande et de mouvement très peu étendu, la plume peut être promenée sur le papier avec une certaine vitesse. On n'écrit pas aussi vite qu'avec les plumes ordinaires, mais on écrit à peu près comme un calligraphe qui s'appliquerait beaucoup et voudrait faire de belles grandes lettres moulées.

Le mouvement alternatif est donné à la plume par un petit électro-moteur fort ingénieux et simple, qui est placé en haut du

porte-plume; la figure 171 le représente dans son aspect général.

La pointe est au bout inférieur d'une tige qui traverse le porte-plume et qui se termine à son extrémité supérieure en une fourchette embrassant un excentrique monté sur l'axe du moteur. Cet excentrique est à trois cames, et il suffit de 60 révolutions de l'axe par seconde, pour produire les 180 battements dont nous avons parlé tout à l'heure. Cet axe porte une plaquette de fer doux, fonctionnant comme armateur mobile d'un électro-aimant fixe, devant lequel elle tourne avec rapidité par l'action d'un commutateur très simple, qui interrompt le courant deux fois par révolution. Un volant annulaire, relativement lourd, embrasse cette armature qui en occupe un diamètre; il sert à donner une grande régularité et continuité au mouvement de l'axe.

Le courant électrique qui donne la vie à ce petit appareil est fourni par une pile de deux éléments au bichromate de potasse qui a été étudiée avec soin par M. Edison, et dont la disposition est heureuse. Les couvercles des deux éléments sont formés de plateaux d'ébonite (caoutchouc durci) reliés à une pièce métallique centrale qui glisse sur une tige verticale. Les couvercles portent les deux électrodes, charbon et zinc. Quand on emploie la plume, on plonge les électrodes dans les liquides; la figure 171 montre la pile dans cette position. Quand on cesse d'écrire, on relève la pièce centrale, on l'accroche à la partie supérieure de la tige qui lui sert de guide et on préserve ainsi les électrodes du contact des liquides et par suite le zinc de l'usure inutile.

Grâce à cette précaution la pile peut fonctionner quatre jours sans entretien aucun, c'est-à-dire sans renouvellement de liquide, et les zincs peuvent suffire à un travail de plusieurs semaines. Nous n'avons pas besoin de dire que ces durées n'ont rien d'absolu et qu'elles dépendent de l'activité plus ou moins grande du travail imposé à la pile.

Tel est l'appareil dans sa simplicité; venons maintenant à son objet et à son utilité.

Au moyen de la plume électrique, avons-nous dit, on obtient

sur le papier une écriture formée d'un grand nombre de petits trous voisins les uns des autres. Cette écriture n'est que difficilement lisible par réflexion, c'est-à-dire de la manière habituelle pour l'écriture ordinaire. Elle est un peu plus lisible par transparence ; mais sous ces deux formes elle serait fort pénible, sans présenter d'ailleurs aucun avantage en compensation. Mais il faut considérer ce papier perforé comme un *négatif* au moyen duquel on peut obtenir un grand nombre d'*épreuves positives* ou de co-

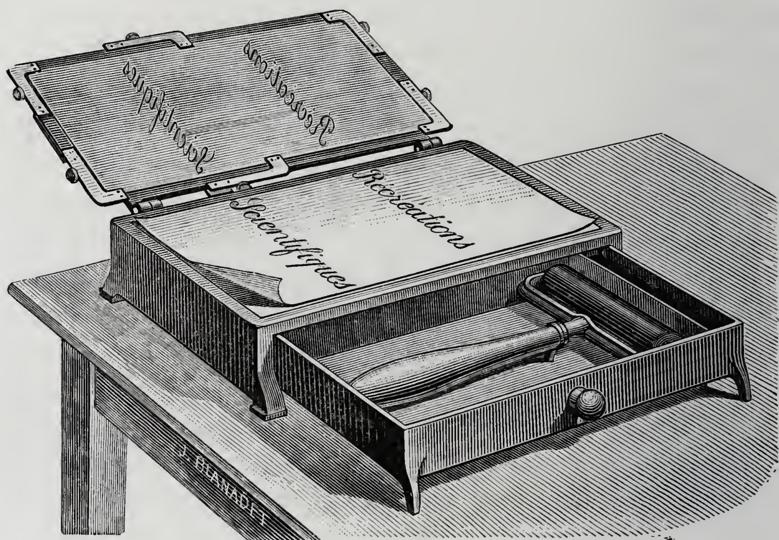


Fig. 172. — Presse destinée au tirage des épreuves. (Page 252.)

pies du texte ou dessin tracé à la pointe. Pour obtenir ces épreuves, on fait usage d'une presse que représente la figure 172. Dans le couvercle qui est indiqué à gauche, on place le *négatif;* il est maintenu tout autour par des ressorts très faciles à manœuvrer.

Sur le corps de la presse on place une feuille de papier blanc, on rabat le couvercle ; le négatif s'applique sur le papier blanc. Au moyen du rouleau à manche représenté à droite, on étale du noir sur le négatif ; l'encre pénètre au travers de tous les trous

jusqu'à la feuille blanche qui est dessous. On relève le couvercle et l'épreuve est obtenue.

Cette copie présente un aspect particulier : l'écriture n'a ni traits ni déliés. Pour qu'elle soit bien lisible, il faut qu'on ait écrit un peu gros. Cependant avec un peu d'habitude et quelques artifices fort simples on obtient toute espèce de dessins, on copie de la musique avec les blanches et les noires parfaitement reproduites.

Le même négatif peut servir à produire successivement un grand nombre d'épreuves : on assure qu'on peut aller jusqu'à mille et au delà. Des personnes habituées à ce travail peuvent, dit-on, faire jusqu'à six épreuves par minute. Il va sans dire que cette opération, comme tous les travaux manuels, ne se réussit complètement qu'après un peu d'étude et quelques tâtonnements ; mais elle ne présente aucune difficulté.

LE CHROMOGRAPHE.

Lorsque, après avoir écrit sur une feuille de papier, en se servant comme encre d'une solution un peu concentrée de violet de méthylaniline ou de fuchsine, on applique exactement l'écriture ainsi obtenue sur une lame gélatineuse molle, constituée par une substance analogue à celle dont sont faits les rouleaux d'imprimerie, en passant plusieurs fois la main sur le revers du papier, et qu'on enlève ensuite ce dernier après quelques minutes, l'encre a quitté le papier et l'écriture renversée se trouve reportée sur la lame de gélatine. Si dès lors on applique sur la préparation ainsi obtenue une feuille de papier ordinaire, en frottant plusieurs fois le revers avec la main étendue (fig. 173), l'écriture redressée s'imprime sur la feuille et donne une reproduction exacte de l'original (fig. 174). L'encre étant épaisse et douée d'un pouvoir colorant considérable, on peut obtenir ainsi successivement quarante ou cinquante épreuves sans modifier la préparation. Au delà, les épreuves manquent de netteté.

Tel est le principe mis en usage dans un assez grand nombre

d'appareils de plus en plus répandus dans le commerce sous des noms divers : *chromographe*, *hectographe*, etc. Nous croyons devoir donner ici quelques renseignements pratiques sur ce sujet.

La lame de gélatine est formée par un des mélanges suivants :

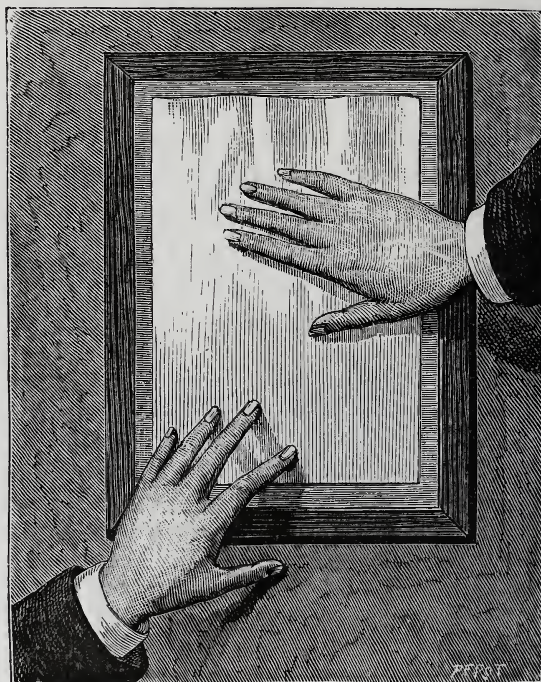


Fig. 173. — Impression obtenue par le simple frottement sur la planche du chromographe. (Page 253.)

1° Gélatine, 100 grammes; eau, 375 grammes; glycérine, 375 grammes; kaolin, 50 grammes (*Lebaigue*);

2° Gélatine, 100 grammes; dextrine, 100 grammes; glycérine, 1000 grammes; sulfate de baryte, Q. S. (*W. Wartha*);

3° Gélatine, 100 grammes; glycérine, 1200 grammes; bouillie de sulfate de baryte lavé par décantation, 500 centimètres cubes (*W. Wartha*);

4° Gélatine, 1 gramme; glycérine à 30°, 4 grammes; eau, 2 grammes (*Kwaysser et Husak*).

Le mélange fondu est agité pendant qu'il se refroidit jusqu'au

moment de l'épaississement, puis coulé dans une caisse de zinc rectangulaire de 3 centimètres de profondeur. Le kaolin ou le sulfate de baryte rend la masse blanche et permet de voir plus facilement la préparation. On peut encore se servir du mélange de gélatine et de mélasse employé pour les rouleaux d'imprime-



Fig. 174. — Épreuve retirée de la planche molle du chromographe, après l'impression. (Page 253.)

rie. Lorsque le tirage est terminé, il suffit de frotter la surface avec une éponge imbibée d'eau, pour enlever toute trace d'encre et rendre la lame propre à recevoir une nouvelle impression. L'introduction de la dextrine facilite ce nettoyage.

On a donné les formules suivantes pour l'encre à employer :

1° *Encre violette :* eau, 30 grammes; violet de Paris, 10 grammes (*Lebaigue*) ;

2° *Encre violette :* alcool, 1 gramme ; eau, 7 grammes ; violet de Paris, 1 gramme (*Kwaysser et Husak*) ;

3° *Encre rouge :* alcool, 1 gramme ; eau, 10 grammes ; acétate de rosaniline, 2 grammes (*Kwaysser et Hussak*).

Il est bon d'employer pour l'écriture du papier glacé, que l'en-

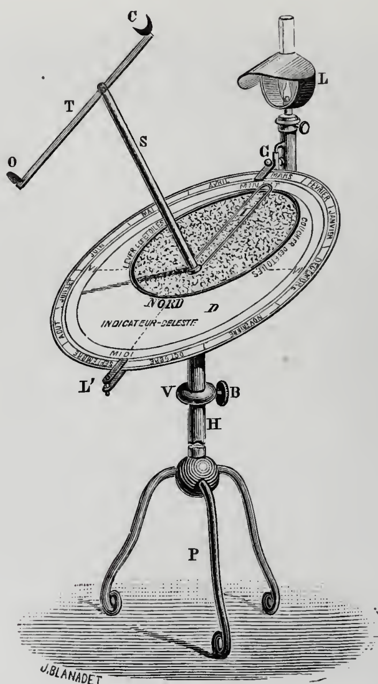


Fig. 175. — Indicateur céleste Maupérin. (Page 257.)

cre abandonne beaucoup mieux. On facilite le report en passant sur le revers une éponge à peine humide.

Pour les épreuves il est avantageux, au contraire, de se servir de papier moins uni.

INDICATEUR CÉLESTE.

On voit combien les objets que nous venons de décrire sont de nature à faciliter les travaux de cabinet ; nous allons passer en

revue quelques autres appareils qui, tout en étant des objets de récréation intelligente, se rattachent à des études scientifiques proprement dites, et nous commencerons par ceux qui facilitent les observations des corps célestes.

Un grand nombre de personnes aimeraient à s'adonner aux observations astronomiques, mais elles reculent souvent devant les difficultés du début, et rencontrent des obstacles qui les découragent quand elles cherchent en vain à reconnaître les constellations dans la voûte céleste.

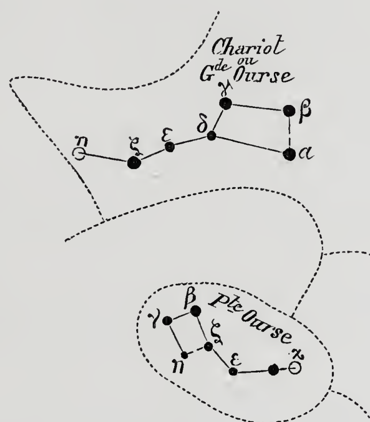


Fig. 176. — Figure servant à indiquer comment on trouve dans le ciel l'étoile polaire. (Page 258.)

La disposition de l'appareil Maupérin que nous reproduisons ici (fig. 175) donne de grandes facilités aux amateurs ; en effet, il permet de nommer instantanément chaque étoile ou constellation, que l'on aura fixée, en pointant dans sa direction le viseur ou tringle supérieure T. Cette tringle, montée sur la colonne S, est mobile à son centre, dans le sens vertical ; dans le sens horizontal, elle entraîne un indicateur-alidade I, fixé au bas de la colonne S, dont les deux branches restent toujours parallèles au plan de la tringle T, quelle que soit leur position sur la carte et l'inclinaison de la tringle T. Les deux extrémités de

cette tringle sont terminées : d'un côté par un croissant C, de l'autre par un œilleton O.

L'appareil ayant été orienté, il suffira, en mettant l'œil au petit œilleton O, d'apercevoir, au milieu du croissant C, l'étoile que l'on aura choisie dans le ciel. Cette étoile, avec son nom, se trouvera dans l'intérieur des branches de l'indicateur-alidade I.

On peut également opérer inversement, c'est-à-dire trouver au ciel, à l'aide du viseur T, les étoiles que l'on aura préalablement choisies sur la carte entre les branches de l'indicateur-alidade.

La carte représente exactement le ciel tel qu'on le regarde. Cette disposition nouvelle, inverse de celle adoptée pour toutes les cartes célestes, est très importante ; elle évite d'avoir à tenir la carte retournée et placée au-dessus de la tête.

On trouve facilement *la Grande-Ourse* ou *le Chariot*, en se tournant vers le *nord*. On reconnaît cette belle constellation composée principalement de sept étoiles secondaires, dont quatre forment un trapèze : alpha α, bêta β, gamma γ, delta δ (*les quatre roues du chariot*); et dont les trois autres : epsilon ε, zêta ζ, êta η, forment une ligne convexe vers le pôle (*le timon du chariot*) (fig. 176).

La ligne β α prolongée du côté d'α, d'environ 5 fois sa valeur, quelle que soit d'ailleurs la position de la constellation, passe près d'une étoile isolée qui brille dans cette région du ciel : c'est *la Polaire*. Cette étoile est la troisième α du timon d'une constellation semblable à la Grande-Ourse, plus petite qu'elle, mais placée en sens inverse. Cette constellation est la Petite-Ourse.

L'appareil ayant été placé dans une cour, un jardin ou sur une terrasse, de telle sorte que la colonne H de l'instrument se trouve dans une position verticale, on dévisse de deux tours la vis V du bourrelet B, ce qui rend mobile la partie supérieure de l'appareil. Cela fait on abaisse entièrement, dans le sens de la *flèche descendante*, le *côté de la carte* qui porte *minuit*. S'étant mis en face de l'*étoile polaire*, on prend la partie supérieure de la carte par le petit bouton G, où se trouve

minuit, et par un mouvement de rotation horizontal, on l'amène devant soi.

On place l'indicateur-alidade sur *midi* et on le maintient dans cette position tout en manœuvrant le haut de l'appareil, jusqu'à ce que l'on ait aperçu l'étoile polaire au milieu du croissant C, l'œil visant par l'œilleton O. On a alors la *ligne méridienne* et l'on a soin de serrer aussitôt la vis du bourrelet B.

Il suffit alors de relever la carte dans le sens de la *flèche ascendante*, jusqu'à ce que la vis d'arrêt du cercle C vienne buter; elle règle la position du quart de cercle C, suivant la latitude du lieu, puis on fixe l'appareil, qui se trouve orienté.

Ces préliminaires peuvent se faire en moins d'une minute.

Le disque supérieur a une ouverture elliptique, qui contient pour chaque instant l'ensemble des étoiles visibles sur l'horizon : sa circonférence porte une graduation en *heures divisées par 5 minutes*. Il est fixé sur l'appareil. La ligne *midi-minuit* (en partie pointillée) donne le *méridien*, l'appareil étant orienté comme il vient d'être dit.

Le disque placé au-dessous est la carte céleste; sur sa circonférence se trouvent les *jours de chaque mois*. Il est mobile autour de la colonne S, qui figure l'*axe du monde*, autour duquel tourne la sphère céleste. Lorsqu'il s'agit d'observer les étoiles, on fait arriver le quantième du jour où l'on est, en face de l'heure à laquelle on observe. On peut dès lors lire la carte, en visant avec la tringle T, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Toutes les *cinq minutes*, déplacer la carte d'une division, qui est égale à 5 minutes écoulées. Après la séance d'observation, on peut enlever l'appareil pour le mettre à l'abri; mais si l'on veut éviter une nouvelle orientation, il suffira de faire un repère sur le sol, indiquant la position du pied P, l'*appareil orienté*, et de ne plus dévisser le bouton B.

Cela peut être utile dans le cas où l'on voudrait observer les étoiles visibles par un ciel en partie couvert, le *Chariot* et *la Polaire* pouvant ne pas être visibles. — La première orientation pourra ainsi servir une fois pour toutes.

Une petite lanterne L hermétique projette sa lumière sur la face inclinée des cartes, sans gêner l'œil de l'observateur. Elle peut être placée en L′. L'inclinaison de l'appareil varie suivant la latitude du lieu où l'on se trouve ; à cet effet, un demi-cercle, placé en dessous, permet de faire varier cette inclinaison. Pour Paris, elle est de 48,50′.

Cet appareil permet également de connaître toujours *quel sera l'aspect du ciel*, à un jour quelconque d'un mois et à une heure donnée. On placera la carte à ce jour et à l'heure ; elle présentera l'ensemble des étoiles qui seront visibles au-dessus de l'horizon. De même, il sera facile de connaître exactement l'heure à laquelle se lèvent et se couchent les étoiles, ainsi que celles qui ne se couchent jamais ; savoir l'heure à laquelle elles passent au méridien (*ligne midi-minuit de la carte fixe*), et l'époque où elles apparaissent à l'horizon. On pourra conclure que l'on aura fixé une *planète*, lorsque l'astre ne sera pas signalé par l'indicateur-alidade I. Cet appareil convient à tous les établissements d'enseignement aussi bien qu'aux observateurs les moins versés dans la science astronomique. Sa combinaison dispense d'aucune étude préalable et permet de lire dans le ciel comme dans un livre.

UNE PENDULE ASTRONOMIQUE.

On a souvent essayé de représenter par des appareils cosmographiques la position de la terre dans l'espace, l'inclinaison de son axe, son mouvement de rotation diurne, et même son mouvement de translation annuel autour du Soleil et la succession des saisons qui en dépend. Mais la reproduction de ces mouvements simultanés n'a été obtenue jusqu'à présent que sur une grande échelle par des appareils qui peuvent trouver leur place dans un musée ou dans un parloir, mais qu'il serait assurément difficile de loger dans nos appartements, sur une table ou sur une cheminée. Ce sont là d'ailleurs des mécanismes coûteux, dont le but est de servir de démonstration de temps à autre, et

qui ne marchent pas constamment eux-mêmes sous les yeux du spectateur.

Pour toute personne qui s'intéresse à l'astronomie, ou simplement à la cosmographie, ou, plus simplement encore, pour toute personne qui aime à se rendre compte de la réalité et qui juge

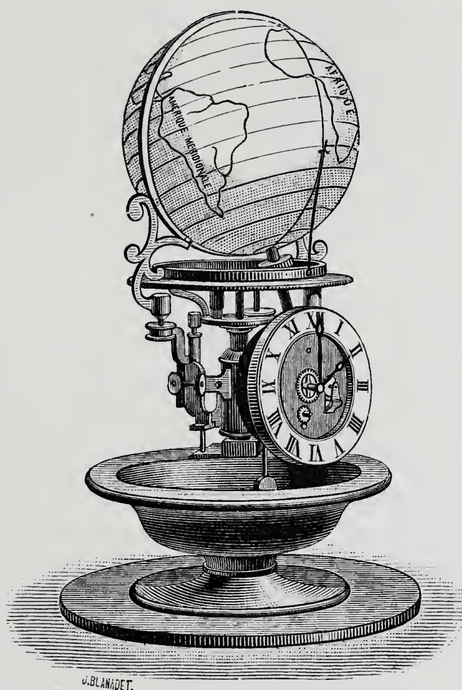


Fig. 177. — Pendule cosmographique Mouret. (Page 260.)

utile de savoir comment la terre où nous sommes est placée dans l'espace, comment elle se meut, et comment par ses mouvements elle nous donne les années, les saisons et les jours, le désidératum serait de reproduire exactement l'ensemble de ces mouvements sur une sphère terrestre détaillée, marchant d'elle-même, et remplaçant avantageusement ces pendules vulgaires dont les sujets décoratifs sont devenus d'une banalité proverbiale.

Or, c'est précisément le travail qu'a récemment terminé avec

succès un laborieux inventeur, qui a consacré toute sa vie et toute sa fortune à la réalisation de cette grande idée, et qui vient de s'éteindre misérablement dans une mansarde solitaire, la veille du jour où ses persévérants efforts allaient recevoir la récompense si légitimement due à toute une vie de labeur et d'abnégation.

M. Mouret communique à sa sphère la vie astronomique de notre globe, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie qui lui imprime, de seconde en seconde, à chaque coup de balancier, le double mouvement de rotation et de translation. Ce globe tourne en vingt-quatre heures sur lui-même, et l'on voit insensiblement passer devant soi toutes les parties du monde, qui prennent successivement devant le soleil la place qu'elles occupent en réalité. Ce n'est pas l'un des moindres intérêts de cette pendule astronomique d'y remarquer, dans le simple intervalle du commencement à la fin d'un déjeuner ou d'un dîner, le déplacement qui s'est opéré pour tous les peuples : ici, sur le méridien central, tous ces pays ont midi ; là, à gauche, près du cercle qui limite l'hémisphère éclairé et l'hémisphère obscur, le soleil se lève et la journée commence ; là, au contraire, à droite, le soleil se couche et la journée finit... Tiens ! voilà l'océan Pacifique immense en pleine lumière, tandis que presque tous les continents sont en ce moment dans la nuit et dans le sommeil..... Ah ! voilà les Chinois qui arrivent et qui ouvrent le cercle lumineux de l'Asie et de l'Europe, comme ils l'ont ouvert aux origines de l'histoire.

Voulant faire une pendule et ne pouvant, par conséquent, faire changer la terre de place de jour en jour, comme elle le fait en réalité, l'inventeur a très ingénieusement reproduit le mouvement de déclinaison du soleil qui en résulte, en faisant décrire un double cône à l'axe du monde. Aux équinoxes, les deux pôles sont sur un plan, et le jour est égal à la nuit dans tous les pays du monde ; au solstice d'hiver, le pôle nord ou supérieur est incliné en arrière de 23°,28′, notre hémisphère est dans l'hiver, nous n'avons plus ici que huit heures de jour contre seize heures de nuit ; six mois plus tard, ce même pôle nord s'est relevé

et incliné vers le soleil de la même quantité, tandis que le pôle sud s'est enfoncé dans la nuit : c'est l'été et la saison des longs jours pour notre hémisphère boréal, l'hiver et la saison des longues nuits pour l'hémisphère austral.

Un cadran vertical donne l'heure du pays, et l'on peut à tout instant du jour et de la nuit constater l'heure de tous les autres pays du monde. Un cadran horizontal indique le jour du mois, et se met chaque jour en correspondance avec le mouvement de translation de la terre autour du soleil, reproduit dans ses résultats à l'aide de l'artifice du double cône. Le spectateur qui regarde la pendule de face est censé tourner le dos au soleil ; comme disait ce pauvre Mouret : « Je le suppose restant à cheval sur le rayon vecteur idéal mené à tout instant du soleil à la terre. »

Ajoutons que tous ces mouvements s'effectuent constamment d'eux-mêmes et sans qu'on ait besoin de toucher à la pendule — qui se remonte simplement comme toutes les autres. Par un surcroît d'attention, toutefois, l'inventeur a pris soin de rendre les mouvements de la sphère assez indépendants pour qu'on puisse, quand on le veut, se servir de cette sphère comme appareil de démonstration : on peut lui imprimer à la main, à l'aide de deux petites manivelles, les trois mouvements (rotation, translation et abaissement du pôle) sans déranger en rien l'horlogerie. Il suffit ensuite de remettre exactement la terre à sa place, au jour et à l'heure (fig. 177).

CHRONOMÈTRE SOLAIRE.

Le chronomètre solaire imaginé par E. Fléchet, et représenté par la gravure ci-après (fig. 178), est en quelque sorte un équateur réduit à sa plus simple expression. Il permet de déterminer l'heure vraie avec une grande facilité. Cet appareil se compose d'un disque plein et bombé AB, divisé en 24 heures et en fractions d'heure. Ce disque tourne sur lui-même, autour d'un axe CD, qui est dirigé suivant l'axe du monde, ce qu'on obtient en inclinant l'axe plus ou moins autour du genou E, suivant la lati-

tude du lieu. En F est une lentille mobile autour d'un de ses diamètres, de manière à pouvoir être toujours présentée au soleil ; elle est le centre d'une plaque concave et exactement sphérique représentée en GH.

Quand l'instrument est fixé de manière à ce que l'axe CD soit parallèle à l'axe du monde, on tourne le disque AB de telle fa-

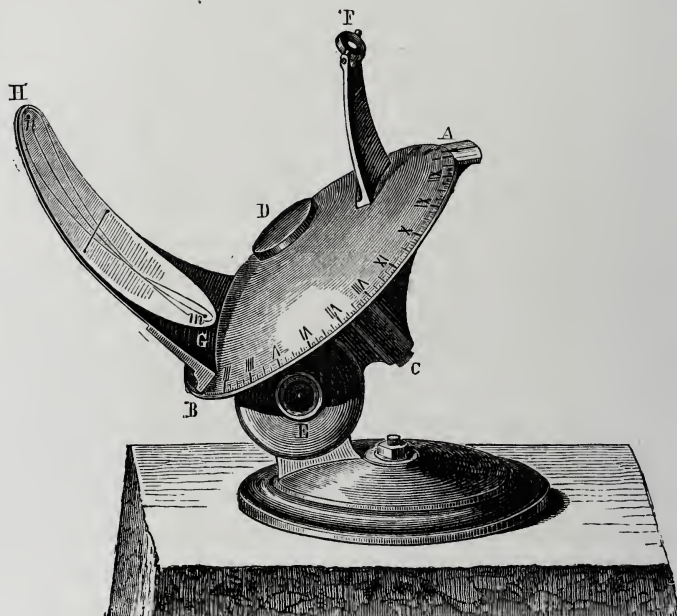


Fig. 178. — Chronomètre de M. Fléchet; précision de 1/4 de minute. (Page 263.)

çon que le centre de l'image du soleil, produite par la lentille F, se trouve sur l'arc *mn*. On a l'heure vraie en examinant la position de l'index A sur la graduation des heures. On obtient par là le temps vrai. On peut obtenir le temps moyen en ajoutant à l'arc *mn* une courbe en 8 construite par points, d'après la valeur de l'équation du temps, pour tous les jours de l'année. Ch. Delaunay, en signalant cet appareil intéressant dans son cours d'astronomie, disait à son sujet : « L'installation de cet

instrument se fait avec la plus grande facilité, son emploi est très commode et donne d'excellents résultats ; sous des dimensions assez restreintes, il fournit l'heure avec une précision d'un tiers ou d'un quart de minute. Nous ne pouvons que faire des vœux pour que l'usage s'en répande. »

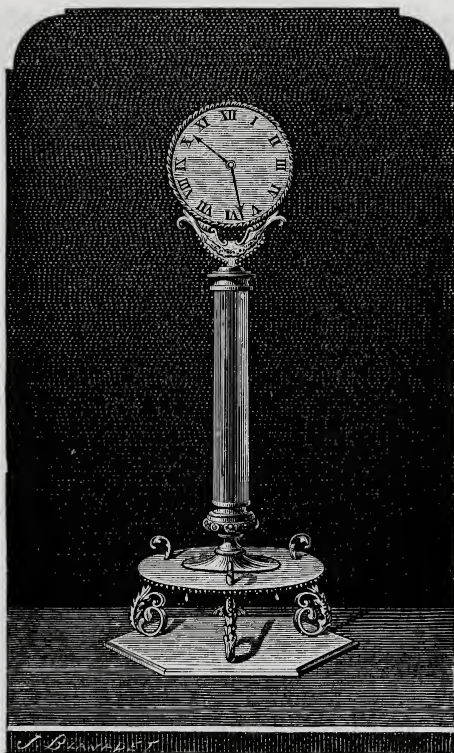


Fig. 179. — Pendule mystérieuse en cristal. — Système Robert Houdin. (Page 265.)

HORLOGES MYSTÉRIEUSES.

Les pendules que nous représentons (fig. 179 et 180) sont très dignes de figurer dans la maison d'un amateur de sciences. Elles sont en cristal transparent, et quoique tout mécanisme soit absolument dissimulé, elles fonctionnent cependant très

régulièrement. La pendule de la figure 179 due à Robert Houdin est formée de deux disques de cristal superposés et renfermés dans le même encadrement ; l'un, fixe dans l'espace, porte la graduation qui constitue tout cadran ; le second, mobile sur son centre, fait corps avec l'aiguille des minutes, et sa rotation

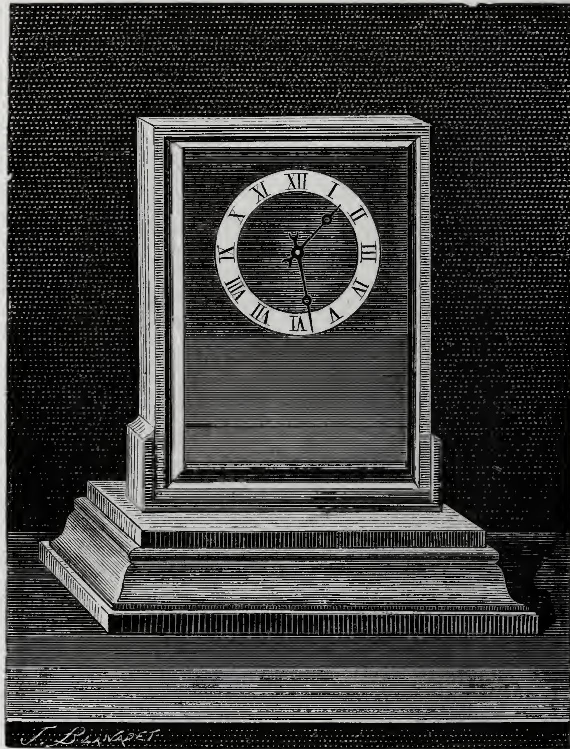


Fig. 180. — Pendule en cristal transparent. — Système Cadot. (Page 266.)

commande, par une minuterie ordinaire, celle de l'aiguille des heures. Le mouvement est transmis à ce cadran par un engrenage disposé le long de sa circonférence et dissimulé dans la largeur du cadre métallique. Cette denture est elle-même actionnée par une roue d'angle, un arbre vertical et un mouvement d'horlogerie, renfermés dans le pied de l'appareil.

M. Cadot dans sa pendule (fig. 180 et 181) conserve les deux vitres, mais, pour dérouter les investigateurs qui seraient au courant de l'artifice de Robert Houdin, il adopte la forme rectangulaire qui exclut toute idée de rotation. L'aiguille des minutes ne peut plus dès lors rester solidaire de la seconde plaque de verre, elle reprend son indépendance. Cette plaque mobile ne conserve que la latitude d'un très faible mouvement angulaire autour de son centre, que permet le jeu laissé à l'intérieur du cadre rectangulaire. Un petit encliquetage, dissimulé dans le

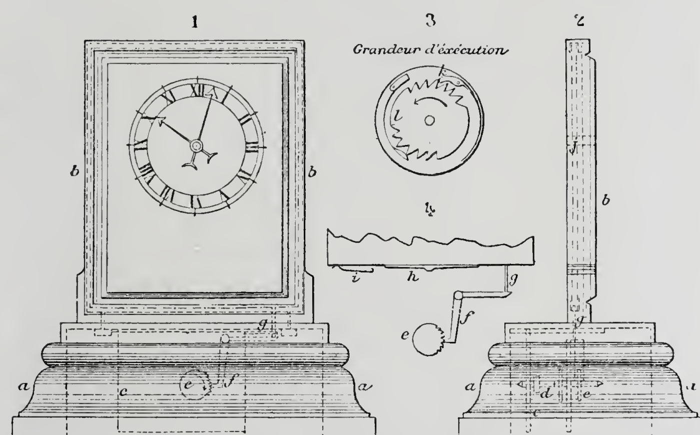


Fig. 181. — 1. Vue de la face de la pendule Cadot. — 2. Vue de profil. — 3. Détail du mouvement de la minuterie placé au centre des deux vis. — 4. Détail du mouvement de la vitre mobile. (Page 268.)

a. Socle de la pendule. — *b*. Cadre porté par le socle *a* et dans lequel les deux glaces ou vitres sont disposées de telle sorte que celle qui est derrière ait le jeu nécessaire au mouvement d'oscillation qu'elle reçoit. — *c*. Espace qu'occupe le mouvement d'horlogerie. — *d*. Tige de la roue de centre portant le rochet *e*. — *e*. Rochet de 30 dents conduisant le levier *f* (n° 4) et tournant sur son axe en une heure.

noyau central de l'aiguille, accumule pour celle-ci, sous forme de rotation progressive, l'oscillation alternative et invisible aux yeux, de la vitre transparente. Pour produire ce balancement, on supporte cette plaque sur un fléau noyé dans le bord inférieur du cadre métallique. Après oscillation directe dont je vais parler, un petit ressort, bandé par ce mouvement même, ramène le système en arrière. Le déplacement direct est produit par

une *pompe* ou bielle verticale, qui vient soulever l'extrémité du fléau. Cette pompe prend son point d'appui sur un levier coudé, mis en relation avec une roue de 30 dents triangulaires. Enfin, cette roue tourne sur son axe en une heure, sous l'influence d'un mouvement d'horlogerie caché dans le pied de la pendule. Chacune des dents met donc deux minutes à passer, et la transmission précédente détermine un déplacement correspondant de l'aiguille des minutes, qui accomplit ainsi sa rotation en une heure. Quant à la seconde aiguille, elle est commandée par une petite minuterie délicatement dissimulée dans le moyeu [1].

Ces pendules remarquables ont été imaginées après celle de M. Henri Robert, qui n'est pas moins intéressante (fig. 182).

Cette horloge, en effet, est bien faite pour exciter la curiosité.

En apparence, que voit-on ? Un cadran de glace très transparente, à la surface duquel les deux aiguilles des heures se meuvent dans les mêmes conditions que dans un cadran ordinaire, mais rien autre chose n'apparaît ; on cherche le mécanisme qui fait mouvoir ces aiguilles ; on suppose d'abord qu'il est électrique, parce que le cadran est suspendu dans l'espace par deux fils ; mais on aperçoit bientôt que ces fils ne sont nullement en contact avec les aiguilles ; on cherche un support quelconque dans lequel le mouvement pourrait avoir été caché, mais rien ne peut être découvert, le mystère paraît impénétrable.

L'étonnement ne fait que grandir lorsqu'on voit ces aiguilles libres, fixées sur la glace qui les isole, avoir la propriété de tourner dans toutes les directions, de se balancer dans leur orbite autant de temps qu'un doigt indiscret l'aura voulu, et puis revenir d'elles-mêmes, non à l'heure qu'il était, mais bien à l'heure qu'il doit être ; malgré tous dérangements et toutes contrariétés, de quelque durée qu'ils soient, les aiguilles viennent reprendre la place qui leur est indiquée par le temps et continuent ensuite leur mouvement régulier et uniforme.

Les aiguilles de l'horloge portent elles-mêmes leur mécanisme ;

[1] Rapport de M. Haton de la Goupillière.

elles constituent, on peut dire, une balance à leviers inégaux, dans laquelle le mouvement d'horlogerie n'a pour but que de déranger l'équilibre, et cette propriété est employée pour lui faire indiquer l'heure et la minute, ainsi que nous allons l'expliquer.

C'est l'aiguille des minutes qui est la balance; elle est rigou-

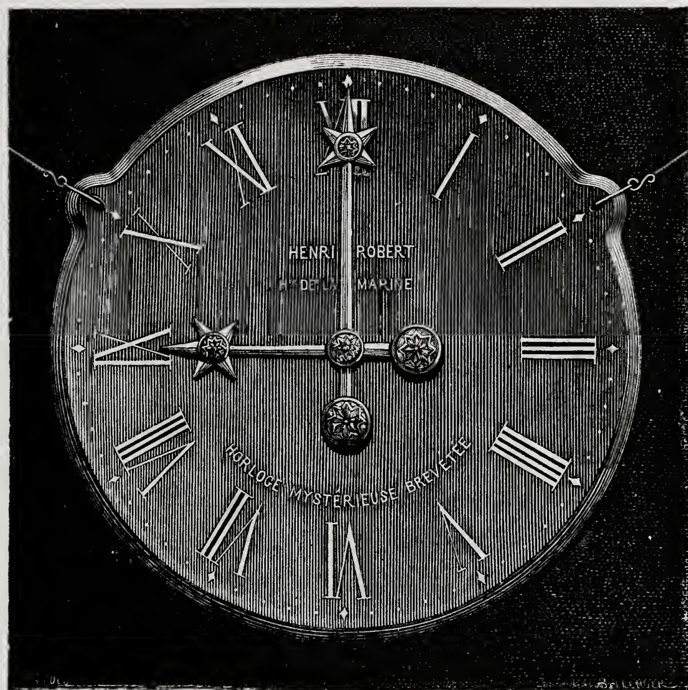


Fig. 182. — L'horloge mystérieuse de M. H. Robert. (Page 268.)

reusement équilibrée. Dans la boîte ronde fixée au talon de cette aiguille, sous l'action d'un mouvement de montre qui y est renfermé, un poids en platine se déplace autour de la circonférence de la boîte.

Le centre de gravité étant à tout instant déplacé par la révolution de ce poids, qui fait un tour en une heure, l'aiguille des minutes est forcée de suivre ce déplacement, puis au moyen d'une

minuterie, elle fait mouvoir l'aiguille des heures ; par cette disposition les aiguilles sont dépendantes l'une de l'autre, mais restent indépendantes du mouvement. Si on les dérange de moins de trente minutes en avance ou en retard, elles reviennent automatiquement toutes deux à leur place ; si on les fait tourner vivement, l'aiguille des minutes revient à la minute, mais celle des heures revient à une heure quelconque.

D'après le même principe, mais par une disposition différente, en laissant à l'aiguille des minutes un mouvement faisant faire au poids un tour par heure, et mettant à l'aiguille des heures un mouvement avec un poids faisant un tour en douze heures, on arrive à ce résultat que les aiguilles sont indépendantes l'une de l'autre, et qu'en faisant tourner une aiguille dans un sens, et l'autre dans l'autre, l'une revient invariablement se mettre à la minute et l'autre à l'heure.

On voit que le mécanisme de l'horloge mystérieuse est simple et ingénieux ; son principe n'est pas absolument nouveau, et, avant M. Robert, on a déjà proposé de faire mouvoir des aiguilles à l'aide d'un mouvement qu'elles pouvaient contenir dans l'intérieur du métal qui les constituait. Mais M. Robert a apporté à ce système des perfectionnements très importants, il l'a présenté sous une forme élégante, et l'a rendu absolument pratique.

Chaque jour on remonte l'horloge mystérieuse comme une montre, et s'il arrive qu'elle soit soumise à quelque accident, tout horloger peut facilement la réparer.

L'horloge de M. H. Robert peut être suspendue par deux minces cordelettes, et appliquée contre une glace ou un grand miroir ; elle y produit un très curieux effet.

CHAPITRE VIII

LA SCIENCE ET L'ÉCONOMIE DOMESTIQUE

La physique, la mécanique, la chimie et la plupart des sciences appliquées sont susceptibles de nous rendre des services importants dans toutes les circonstances de la vie usuelle ; nous ne saurions trop, au double point de vue du bien-être et de l'économie, nous exercer à nous entourer d'objets commodes, construits suivant les principes de la science. Choisissons au hasard un exemple à l'appui de ce que nous venons de dire.

Pendant les froids de l'hiver, nous avons souvent grand'peine à nous chauffer au dedans, nous brûlons du bois ou de la houille, et le froid n'en sévit pas moins. Nous pouvons éviter cependant les intempéries, par l'emploi d'une double fenêtre.

Pourquoi la fenêtre double, partout usitée en Russie, conserve-t-elle si bien la chaleur intérieure des habitations? Est-ce parce que l'on est en quelque sorte défendu contre le froid par deux fenêtres, au lieu de ne l'être que par une seule? Cette explication ne serait pas suffisante. Si l'on est protégé contre le froid extérieur, c'est grâce à la masse d'air emprisonnée entre les deux fenêtres. L'air est en effet si extraordinaire que cela puisse paraître, un gaz très mauvais conducteur de la chaleur : il forme le meilleur et le plus simple isolant que l'on puisse

trouver. La chaleur de l'appartement est donc parfaitement conservée par la couche d'air de la double fenêtre. Elle ne subit point de déperdition au dehors. Par la même cause, la double fenêtre n'est pas moins utile pendant l'été : elle empêche la chaleur de l'air atmosphérique de pénétrer dans l'habitation. Ainsi la double fenêtre, avec sa couche d'air isolante, peut se comparer au burnous de laine de l'Arabe ou au manteau de l'Espagnol, qui le préserve de la chaleur tout aussi bien qu'il le garantit du froid : de même que le burnous ou le manteau, c'est un isolant.

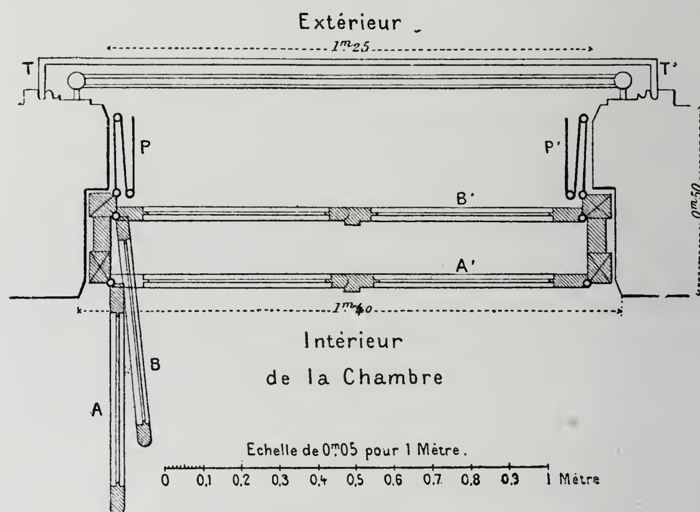


Fig. 183. — Plan d'une double fenêtre. (Page 272.)

La double fenêtre peut rendre encore un autre service. Ses vitres en verres forment une serre. Le soleil échauffe l'air qu'elles renferment ; les rayons calorifiques y sont emmagasinés comme sous la cloche à melon. Entre les deux fenêtres, on peut faire croître des plantes grasses et même du raisin : c'est ce que nous avons vu, par exemple, à une double fenêtre de Saint-Malo.

Ce que nous disons de la double fenêtre peut donner l'envie à quelque lecteur de s'en faire construire une ou plusieurs dans son habitation. C'est peu coûteux. Voici le plan :

TT′ (fig. 183) est la barre d'appui extérieure de la croisée. Les

deux fenêtres montées sur un châssis de bois sont représentées en AA′ et BB′. Les deux montants A, B, sont figurés ouverts. — P et P′ sont des volets en tôle. On peut, si le mur est moins épais que celui que nous figurons, les remplacer par un store que l'on descend à volonté entre les deux fenêtres.

Un grand nombre de systèmes ou d'instruments ingénieux

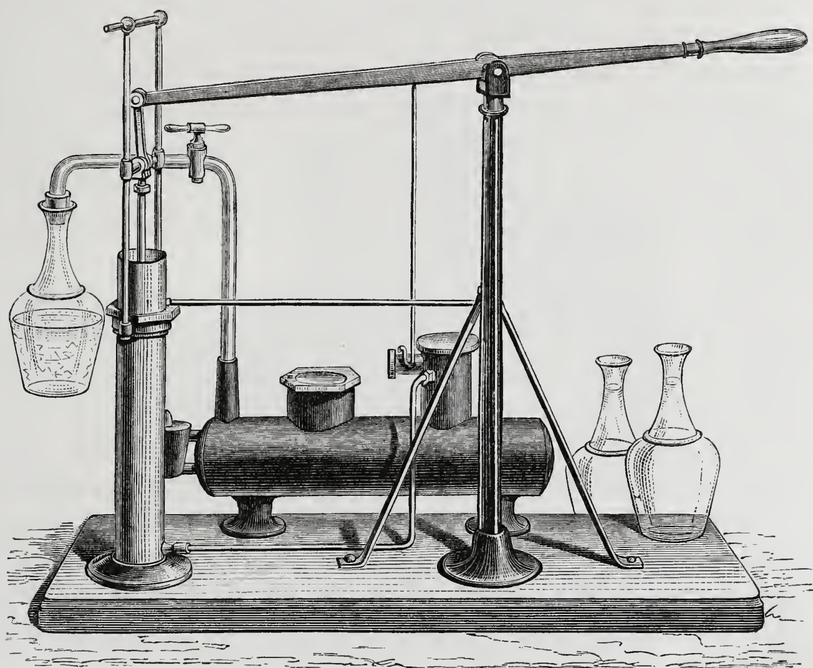


Fig. 184. — Appareil Carré pour frapper les carafes. (Page 274.)

peuvent nous servir avec avantage et économie dans la vie domestique. Nous en choisirons quelques exemples dans ce chapitre.

APPAREIL CARRÉ POUR FRAPPER LES CARAFES.

On répète souvent dans les cours de physique une expérience qui consiste à faire congeler de l'eau en la plaçant dans le vide de la machine pneumatique. L'eau est versée dans une petite

soucoupe, emprisonnée sous la cloche de verre de la machine ; quand l'opérateur a donné quelques coups de piston, l'eau commence à entrer en ébullition, puis elle se transforme en une masse solide de glace. Il est facile de comprendre ce qui se passe dans cette expérience. L'eau se met à bouillir aussitôt que la pression de l'air n'agit plus à sa surface ; mais, pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, sans le secours d'un foyer extérieur, elle emprunte de la chaleur aux corps environnants, et elle se refroidit elle-même, au point de se solidifier. C'est cette expérience très simple que M. Carré a mise en pratique dans l'appareil ci-contre (fig. 184). Une petite pompe à main fait le vide dans la carafe que l'on adapte (à l'aide d'un anneau de caoutchouc formant bouchon) au tube métallique avec lequel elle est mise en relation.

L'eau contenue dans la carafe ne tarde pas à entrer en ébullition ; la vapeur qui se dégage traverse un réservoir intermédiaire rempli d'acide sulfurique qui l'absorbe et la condense presque instantanément ; au milieu du liquide contenu dans la carafe, on voit rayonner d'un centre commun quelques aiguilles de glace, qui grandissent à vue d'œil, se multiplient avec rapidité au sein de l'eau ; celle-ci se transforme bientôt en une masse solide de glace. L'expérience s'exécute très facilement : une carafe pleine d'eau est complètement gelée en moins d'une minute, et le nombre des coups de piston à donner ne nécessite par conséquent aucune fatigue.

L'appareil peut être utilisé avec avantage, à la campagne et dans toutes les localités éloignées des villes, où l'on ne trouve pas de glace dans le commerce. Le seul inconvénient qu'il présente est dans l'emploi de l'acide sulfurique, dont il consomme des quantités assez considérables pour l'absorption de la vapeur d'eau. Mais, en prenant les précautions nécessaires, on peut mettre à profit cet ingénieux appareil, qui est appelé à rendre de grands services à l'époque des chaleurs de l'été.

Le problème de la production vraiment économique de la glace dans les ménages est un de ceux qui préoccupent le plus

sérieusement les chimistes ; mais, malgré tous les efforts qui ont été faits jusqu'ici, il n'est pas encore résolu d'une façon complète.

Les appareils domestiques qui ont été construits, sur quelque principe qu'ils reposent, offrent généralement certains inconvé-

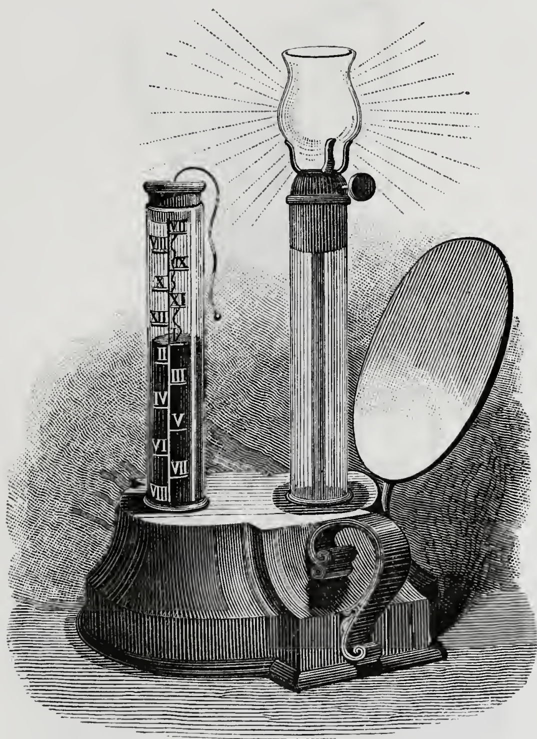


Fig. 185. — Lampe-veilleuse indiquant l'heure. (Page 276.)

nients, qui élèvent le prix de la glace obtenue, ou qui apportent des perturbations à leur fonctionnement.

Dans les grandes villes, on conserve, à l'aide de glacières, la glace formée pendant l'hiver ; on la fabrique encore industriellement dans des usines frigorifiques que l'on ne saurait malheureusement reproduire en petit.

LAMPE-VEILLEUSE INDIQUANT L'HEURE.

Notre gravure 185 représente un système ingénieux qui per-

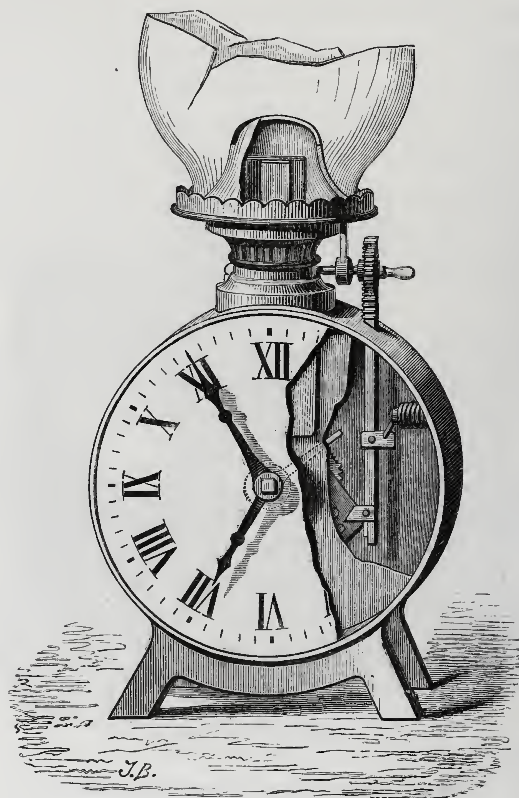


Fig. 186. — Lampe réveille-matin. (Page 277.)

met de donner l'heure au moyen de la combustion de l'huile d'une lampe. Le dessin s'explique pour ainsi dire de lui-même; au-dessus du réservoir d'huile, sont adaptés deux tubes verticaux en verre. Le tube gauche contient de l'huile, il est muni de graduations qui représentent les heures; le tube de droite se termine par la mèche imbibée d'huile qui produit la lumière

par sa combustion. L'appareil a été construit par l'inventeur M. Henry Behn, de telle façon qu'il faut une heure de temps pour consumer la quantité d'huile contenue entre deux graduations. Un réflecteur disposé au-dessous de la flamme projette un rayon lumineux à travers le tube gradué. Pendant la nuit, on peut dis-

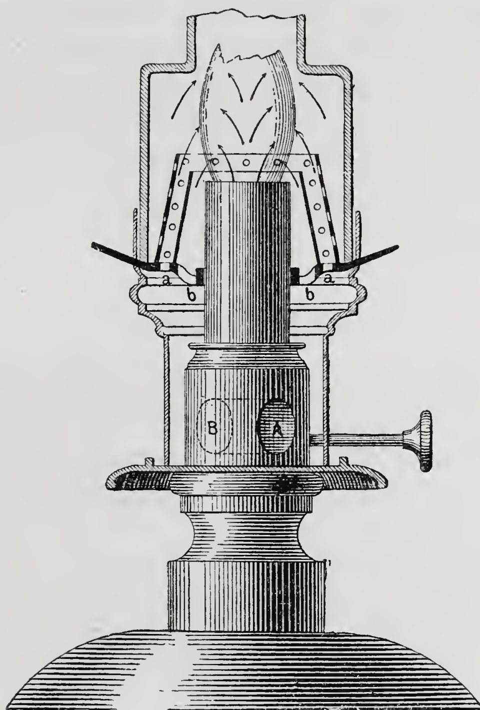


Fig. 187. — Coupe de la nouvelle lampe à pétrole. (Page 278.)

tinctement voir à quelle hauteur est située l'huile dans le tube gradué, et lire l'heure correspondante.

LAMPE RÉVEILLE-MATIN.

Le petit appareil représenté ci-contre (fig. 186) constitue un réveille-matin ordinaire ; cet appareil est surmonté d'une lampe

à pétrole portant un petit brûleur qui reste allumé toute la nuit et qui sert de veilleuse. Le réveille-matin porte un petit index (représenté en pointillé sur la figure) que l'on dispose sur l'heure à laquelle on veut être réveillé. Ce petit index est relié au mouvement, de telle sorte qu'à l'heure fixée il vient déclancher une tige verticale représentée sur la droite de la figure. Cette tige, sollicitée par un ressort, porte une crémaillère qui vient agir sur la vis qui sert à élever la mèche, préalablement abaissée. La mèche ainsi soulevée vient s'allumer au contact du petit brûleur et répand une vive clarté ; la lumière ajoute son effet au bruit du carillon pour secouer la paresse du dormeur.

La lampe réveille-matin que nous signalons est, paraît-il, très répandue à New-York.

LAMPE A PÉTROLE.

La lampe représentée un peu plus haut (fig. 187) brûle de la gazoline ou gaz Mille sans la moindre odeur et sans le moindre danger d'explosion. Elle brûle tout aussi bien le pétrole et l'huile de naphte. Son maximum de clarté s'obtient avec des gazolines du poids de 660 grammes au litre.

Voici la description de ce système. La partie centrale ou porte-mèche comporte un orifice AB traversant toute l'embase et par lequel l'air s'introduit au centre de la lame. Deux larmes verticales soudées en dedans divisent ce courant d'air en quatre filets. Le porte-verre ou galerie forme avec le verre trois enveloppes concentriques, étagées avec les bords du porte-mèche de façon à ce que l'air, qui arrive en lames cylindriques, soit de plus en plus infléchi sous la flamme. Des orifices soigneusement réglés, *a*, *b*, donnent accès à l'air extérieur. En y comprenant le courant d'air central, il y a donc quatre courants d'air, dont trois en lames minces, qui viennent heurter la flamme. Ce sont d'excellentes conditions pour obtenir une parfaite combustion : par suite, absence d'odeur et de fumée et belle intensité lumineuse.

Nous ajouterons que cette lampe reçoit indifféremment n'im-

porte quel verre, soit le verre dit modérateur, à coude d'équerre, soit le verre allemand, étranglé ; la complète répartition d'air très chaud pour la première lame, moins chaud pour les autres, s'oppose au coup de feu sur la cheminée, et par suite, on ne casse jamais les verres; ces deux avantages seront appréciés en province, où la difficulté de se munir de cheminées convenables est souvent une grosse affaire. La lampe en question ne peut recevoir de liquide nouveau sans qu'il soit nécessaire de dévisser le bec, ce qui force à l'éteindre pour cela et supprime la plupart des chances d'explosion ; si nous ajoutons enfin qu'un bec 12 lignes éclaire le double d'un bec modérateur de même force et ne consomme que 3 à 4 centimes à l'heure, et que sa lumière a une fixité absolue, nous aurons tout dit sur ce modeste ustensile.

UNE SOURICIÈRE ÉCONOMIQUE.

Ce petit appareil (fig. 188), que tout le monde peut facilement construire, est, au dire d'un observateur digne de foi, très utile et très efficace; aussi nous sommes-nous décidé à le placer sous les yeux de nos lecteurs. C'est un cône de fil de fer, fixé sur une planchette de bois, et ouvert, à sa partie supérieure, d'un trou circulaire, garni de tiges verticales, qui donne accès aux souris, mais qui ne leur permet plus de sortir. Les souris sont attirées par quelques morceaux de lard que l'on a placés dans la cage de métal, en guise d'appât. Elles pénètrent par l'orifice supérieur et se régalent d'un mets délicat, sans se douter qu'elles ont franchi la porte d'une prison où l'on entre facilement, mais d'où l'on ne saurait s'échapper. Ceux de nos lecteurs que les souris incommodent peuvent tenter le système ; nous serons heureux d'avoir contribué à les débarrasser de ces petits ennemis.

UN BON SYSTÈME DE ROBINET.

Le robinet excellent que nous recommandons ici est dû à un ouvrier fondeur en bronze à Angoulême, M. Guyonnet (fig. 189).

Il consiste en une tige filetée munie d'un tampon de caoutchouc, cône vers la tige, aminci vers l'arrivée de l'eau suivant une double courbure, qui a pour effet de diviser sans choc la veine liquide et de l'amener dans un passage annulaire calculé de telle façon que la veine n'est pas laminée et passée à la filière, ni brusquement coudée comme dans la plupart des robinets

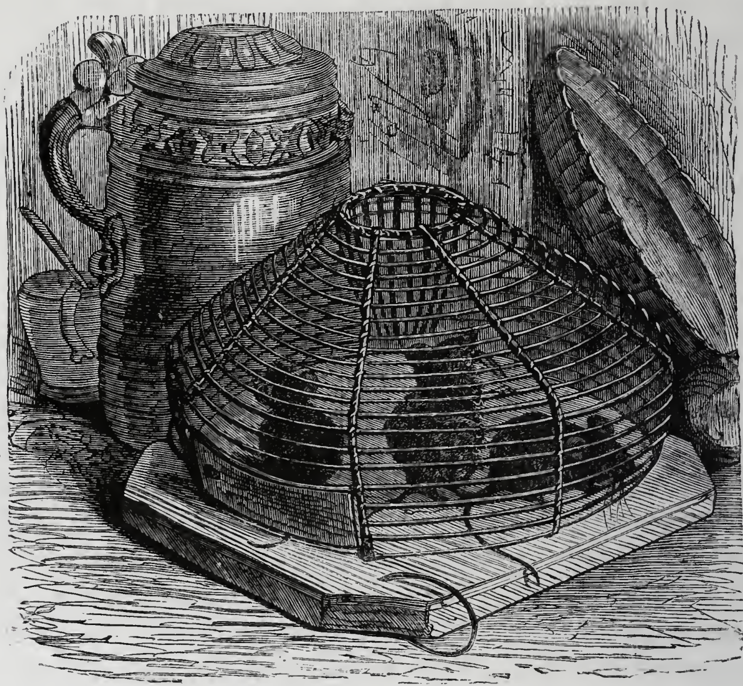


Fig. 188. — Une souricière économique. (Page 279.)

existants. Les conséquences sont faciles à déduire : un faible déplacement du tampon laisse écouler un volume d'eau relativement beaucoup plus fort que celui que verserait un robinet de même grosseur ; une légère incrustation, du vert-de-gris, un brin de paille, peuvent se trouver pris par le tampon sans que la fermeture cesse d'être parfaite : le coup de bélier n'existe pas. Enfin, pour prévoir le cas extrêmement rare de réparations à

affronter, l'enveloppe a été formée de deux pièces, l'une ne se déplace jamais une fois fixée : la tête seule serait à enlever, et se dévisse aisément. Quant au tampon, il s'adapte sur la tige comme une boutonnière à son bouton, et, ne coûtant que 15 centimes, il constitue une réparation à la portée des plus exigeants.

Les déformations que la gelée la plus intense apporte à cet appareil sont sans influence sur son herméticité, grâce à la malléabilité du tampon de caoutchouc.

Enfin, et par suite de ces diverses dispositions, ce robinet se

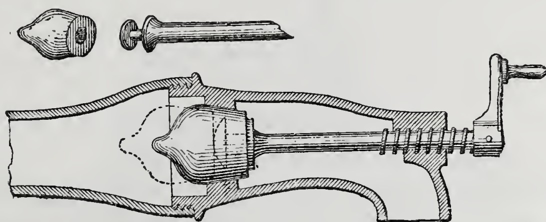


Fig. 189. — Robinet système Guyonnet. (Page 279.)

fait très mince, exige très peu de façons, et coûte fort bon marché.

On voit par ces quelques exemples d'appareils ingénieux et bien conçus, combien il est intéressant de faire un choix judicieux des objets dont on peut avoir à faire usage dans la vie domestique. Il n'est pas indifférent d'avoir tel ou tel système, et la science, appliquée bien à propos, peut utilement intervenir dans la pratique de tous les jours.

C'est ce que nous avons voulu démontrer par quelques exemples.

CHAPITRE IX

LES APPAREILS DE LOCOMOTION

Tout le monde connaît la voiture, la charrette, le canot et les différents moyens de transport : nous allons faire voir que ces moyens de transport si usités peuvent être variés, modifiés de bien des manières, et former l'objet de récréations et de constructions très intéressantes.

Voici, par exemple (fig. 190 et 191), un mode de transport tout à fait inconnu dans nos régions. Nous dirons ici en quels termes l'auteur anonyme du curieux véhicule que nous représentons en fait ressortir les qualités.

« Mon véhicule transporte quatre personnes, non compris le cocher; il est solide, aisé à traîner; il ne lui faut, pour tourner, que la longueur du cheval; on est entièrement maître de la bête, il est d'un accès facile, il ne soulève pas de poussière insupportable, à moins qu'on n'ait le vent à l'arrière et que le cheval ne soit pas assez leste pour s'en éloigner. Sa construction ne coûte pas cher; le harnachement n'est pas luxueux, sauf la têtière; le cheval est protégé contre le soleil, la pluie et les mouches. Si l'animal tombe, vous ne vous en trouvez pas plus mal que s'il était attelé à une chaise de poste ou à une charrette. Enfin, et ce n'est pas à dédaigner, tout cela fera votre affaire,

pourvu qu'il ait de bonnes jambes, une belle queue et une respiration vigoureuse. Le nouveau véhicule peut être construit de telle sorte que les voyageurs soient assis commodément dans différentes positions, comme l'indiquent nos gravures, dos contre dos, comme sur l'impériale d'un omnibus, ou face contre face, deux par deux. Un grand avantage du système consiste en ce que le poids se fait sentir principalement près du collier du cheval; un autre mérite consiste dans le rapprochement du cocher



Fig. 190. — Nouveau véhicule américain, vu de côté. (Page 282.)

et du cheval : l'homme peut ainsi se faire entendre aisément de l'animal et le taper doucement s'il se montre mécontent de la charge qu'il doit porter. Si le cheval s'avisait d'être récalcitrant, il ne pourrait ni se cabrer ni ruer au détriment de qui que ce soit.

« J'estime le coût d'une voiture ordinaire à 2,000 francs ; un beau cheval vaut le même prix, un joli harnachement Backer 500 francs; total, 4,500 francs.

« Mon véhicule coûte environ 1,000 francs, le cheval à peu

près 1,000 francs, mes harnachements 150 francs; j'ai donc une économie de 1,850 francs. »

RAILS SANS FIN.

Les rails sans fin, que l'on peut adapter à toute espèce de véhicules, se composent d'éléments de 0m,30 ou 0m,60 de longueur, articulés entre eux, et dont les bouts reposent sur un patin commun pour assurer à la voie la stabilité nécessaire. Le rail sans fin



Fig. 191. — Le même, vu par derrière. (Page 282.)

enveloppe entièrement les roues dans toute la longueur du train. Le rail de droite et celui de gauche sont indépendants l'un de l'autre. Au fur et à mesure que le train avance, les éléments de la voie se posent devant et se relèvent derrière. Devant, ils sont guidés par deux roues distributrices (fig. 193), gouvernés par la traction elle-même, de sorte que, si l'effort de traction oblique à gauche ou à droite, la voie sans fin suit automatiquement la même direction. Derrière le train, les éléments de la voie sont reliés par deux autres roues; mais, comme dans les courbes les chemins parcourus par les deux rangées de roues de voiture ne

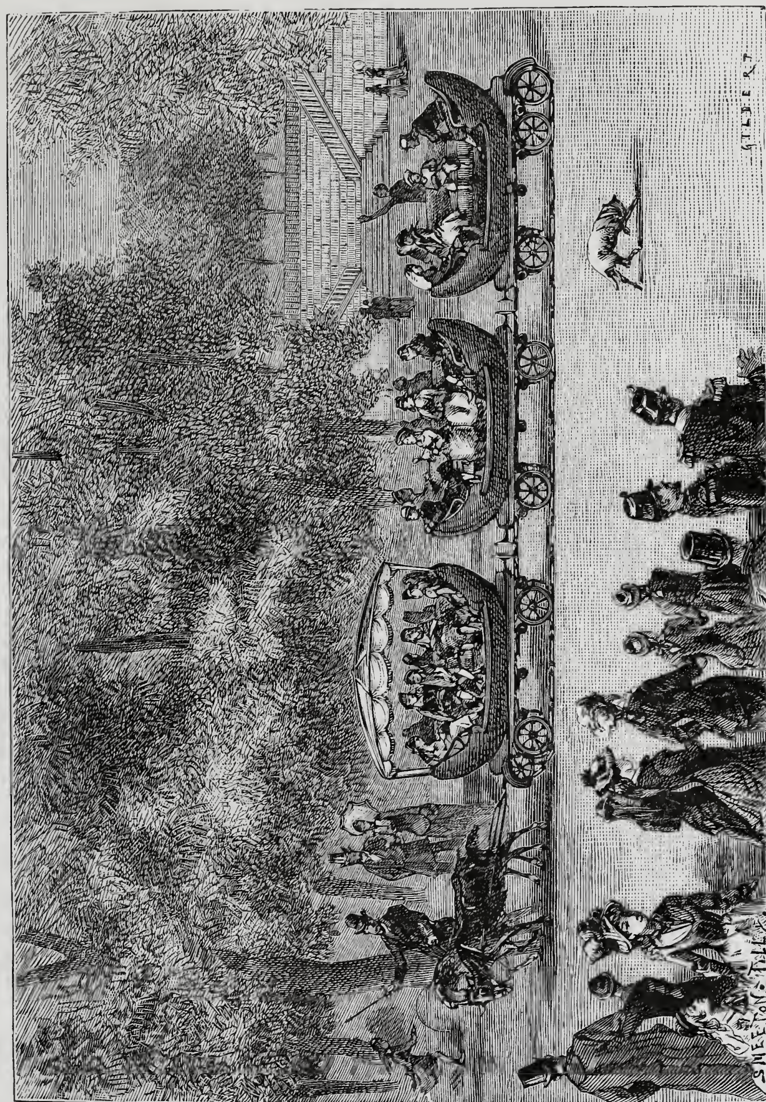


Fig. 192. — Rails sans fin adaptés à un train de voitures aux chèvres dans le Jardin des Tuileries, à Paris. (Page 287.)

sont pas égaux, tandis que la longueur de la voie sans fin reste invariable, il s'ensuit qu'un côté de la voie, par rapport à la dernière voiture, s'allonge et que l'autre se raccourcit ; pour cette raison, les roues de relèvement de derrière sont munies d'un mouvement différentiel ; quand l'une recule, l'autre avance d'autant ; de cette manière, la voie est constamment appuyée et relevée régulièrement quelle que soit la courbe parcourue (les voitures tournent aisément dans une courbe de 6 à 7 mètres de rayon).

Le rail sans fin est accompagné de l'arrière à l'avant fort simplement par des galets spéciaux placés sous le plancher des wa-

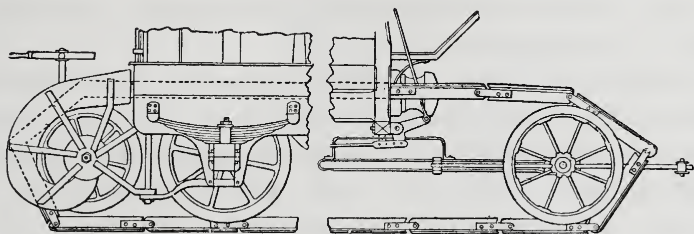


Fig. 193. — Avant et arrière-train d'un convoi pourvu d'un système de rails sans fin. (Page 284.)

gons. Les roues des véhicules sont à double boudin pour éviter tout déraillement et sont montées sur essieux comme l'on veut, mais de préférence à la manière du wagon de chemin de fer.

Le système, considéré au point de vue mécanique, offre d'abord un résultat frappant, c'est le peu d'effort que demande le train pour être mis en mouvement. La résistance au roulement mesurée au dynamomètre ne s'est trouvée être que de 12 kilogrammes par tonne, et on peut affirmer que sur un même chemin, à traction égale, avec ce moyen de transport à rails sans fin, on peut transporter un poids double et même triple qu'avec les moyens ordinaires. La chose peut être vérifiée tous les jours dans le Jardin des Tuileries, avec un petit matériel, il est vrai, mais assez grand pour être démonstratif. Les trois voitures traînées par les chèvres contiennent trente enfants (fig. 192). Elles sont

souvent au grand complet, le dimanche principalement ; il n'y a pas plus de deux chèvres pour les traîner, et toujours les mêmes, de deux heures à neuf heures du soir. Chacun connaît la force très limitée de ces animaux ; eh bien, sans se fatiguer, elles font régulièrement leur service, ayant souvent des charges d'environ 1,000 kilogrammes (enfants et matériel). Pour traîner un poids semblable dans trois autres voitures à roues ordinaires, il faudrait une douzaine de chèvres, soit quatre par voiture ; c'est d'ailleurs ce nombre que l'on attelle aux petites voitures qui promènent les enfants dans les Champs-Élysées.

L'économie de transport est donc incontestable.

La vitesse normale est de 4 à 6 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire que le système n'est pas destiné aux voyageurs, mais uniquement aux marchandises.

Les applications de ce système pourraient être très nombreuses sur toutes les routes, pour toutes sortes de transports, en utilisant pour la traction les chevaux, les bœufs et surtout les machines routières, dans les mines et usines, pour desservir les gares de chemins de fer, aux colonies, dans les plantations, etc., etc.

L'inventeur, M. Ader, destinait particulièrement le système aux transports dans les Landes ; à l'aide de leurs patins, les rails tiennent très bien sur le sable mouvant ; sur un terrain semblable, la voie se pose et fonctionne aussi bien que sur un chemin ordinaire. De sorte que dans les Landes, au lieu d'empierrer à grands frais les routes, on n'aurait seulement besoin que de les tracer et de couper les hautes fougères. Ce serait une vraie fortune pour ce pays ; il y a des étendues énormes de terrains et des forêts de pins, où le bois et la résine se perdent sur place et qu'on ne peut pas exploiter, faute de chemins.

Il serait facile d'employer le système de rails sans fin à bien des transports de différente nature, dans les campagnes et dans un grand nombre de localités où les routes font défaut.

LES WAGONS A VOILES.

« La force du vent, agissant sur des voiles, peut être appliquée aussi bien sur terre à la direction d'une voiture que sur mer à celle d'un navire. » Ainsi s'exprime l'évêque Wilkins, dans le second livre de la *Magie mathématique*, imprimé à Londres en 1648. « Des voitures semblables, ajoute-t-il, ont été employées de



Fig. 194. — Une voiture à voiles en Hollande au dix-septième siècle (d'après une gravure du temps). (Page 290.)

temps immémorial en Chine ainsi qu'en Espagne dans les pays de plaine, mais c'est principalement en Hollande qu'on les a utilisées avec le plus grand succès. Dans ce dernier pays, elles dépassaient de beaucoup la vitesse d'un navire quelconque qui aurait été poussé en pleine mer par le vent le plus favorable. Ainsi, en quelques heures, une voiture à voiles transportait 5 à 10 personnes, sur un espace de 148 à 222 kilomètres, et cela avec très peu de peine pour celui qui était assis au gouvernail, cet homme pouvant guider à son gré la direction du véhicule. »

L'étonnement du bon évêque et de ses contemporains, relativement à la vitesse d'impulsion, était parfaitement justifié, car une voiture à voiles hollandaise, construite comme l'indique la figure 194, parcourait 56 kilomètres par heure. Or c'était là une vitesse alors inconnue, quel que fût le moyen de locomotion employé. « Des hommes, courant devant ces voitures, paraissaient avancer en sens inverse, tant ils étaient vite dépassés. Des objets situés à une grande distance étaient atteints en un clin d'œil et laissés derrière le véhicule. » Effectivement, tant que les chemins de fer restèrent inconnus, il est évident que les voitures à vent durent surpasser en rapidité tous les autres moyens de locomotion, et l'on a peut-être lieu de s'étonner de ce que des efforts ne furent pas faits pour perfectionner cette navigation terrestre. Toutefois l'évêque Wilkins n'eut pas ce reproche à s'adresser, car il adapta au véhicule un moulin à vent, par lequel il disposa les voiles de telle sorte que les ailes tournaient, quelle que fût la direction du vent. Il proposa de faire agir les voiles sur les roues de la voiture « pour transporter voiture et moulin à la fois, n'importe dans quel endroit, même dans une direction tout opposée à celle du vent. » Cette même invention a été renouvelée, il y a quelques années, aux États-Unis, et peut-être pourrait-on en conclure d'une façon peu charitable que, si après un travail de deux siècles et demi nos inventeurs n'ont rien pu faire de mieux que de recourir à l'idée du vénérable évêque, on a atteint l'*ultima Thule* en fait d'inventions relatives aux véhicules à voiles. Cependant le bateau à glace qui glisse sur les lacs gelés est probablement le fils de la voiture à voiles, et les petits véhicules que mettent en marche d'énormes cerfs-volants, tels que les construit maint écolier ingénieux, ont de l'analogie avec les inventions qui nous occupent en ce moment.

Il est intéressant de faire remarquer que, si les chemins de fer ont fait renoncer aux voitures à voiles, ce sont ces mêmes chemins de fer qui vont faire renaître cette ancienne invention. Des véhicules à voiles sont aujourd'hui employés sur les prolongements de rails à l'aide desquels on traverse les immenses prairies

de l'Ouest aux États-Unis et la vitesse obtenue égale, dit-on, celle des trains express les plus rapides. Nous devons à l'obligeance de M. L.-O. Wood, de Hays City, Kansas, la photographie d'après laquelle nous donnons ici le dessin du wagon à voile, ima-

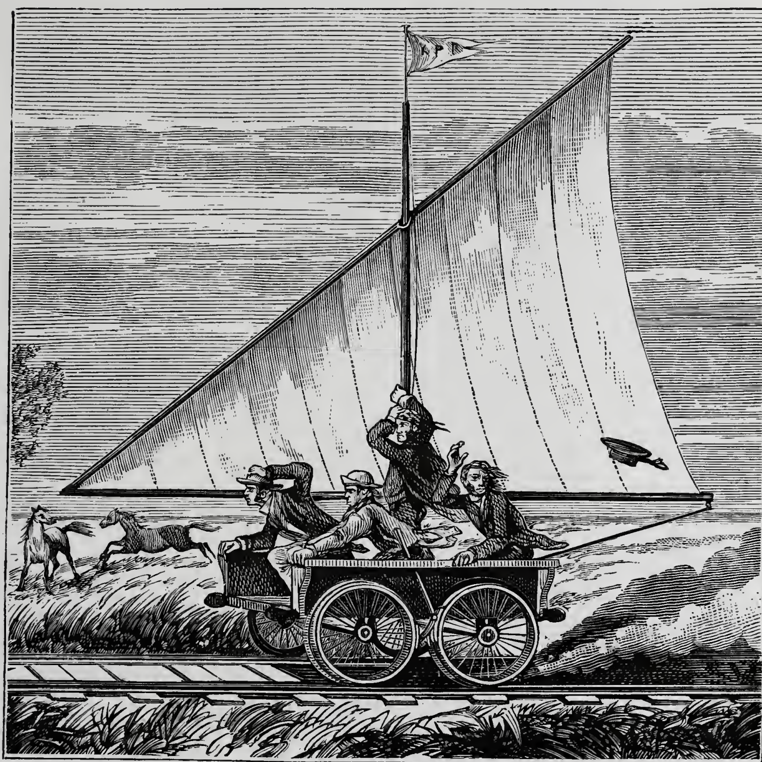


Fig. 195. — Wagon à voile employé sur le chemin de Kansas-Pacifique aux États-Unis. (Page 291.)

giné par M. C.-J. Bascom, du chemin de fer Kansas-Pacifique (fig. 195). Cette voiture fait environ 30 milles (48 kilomètres) à l'heure ; elle atteint la vitesse de 40 milles (64 kilomètres) par heure, quand la brise est impétueuse. Cette dernière vitesse a été obtenue à l'aide d'un vent poussant le wagon en droite ligne. 84 milles (135 kilomètres) ont été franchis dans l'espace de

quatre heures, la direction du vent étant contraire, sur une partie de cette distance, et les rails faisant de nombreuses courbes sur le parcours.

Le nouveau véhicule a quatre roues, chacune de 30 pouces de diamètre ; il a 6 pieds de long et pèse 600 livres. Deux mâts portent les voiles, qui ont de 14 à 15 pieds de long avec une aire totale d'environ 81 pieds carrés. Le mât principal a 11 pieds de haut ; il a 4 pouces de diamètre à sa base et 2 à son sommet. Inutile de dire que plus d'une loi présidant à la direction du bateau à glace s'applique à celle de la voiture à voiles. Il est à remarquer que, lorsque cette dernière parcourt 40 milles (64 kilomètres) par heure, elle acquiert, au dire des expérimentateurs, une vitesse supérieure à celle du vent qui la pousse. La même observation a souvent été faite à propos du bateau à glace dont nous parlerons un peu plus loin. Nous voudrions avoir une démonstration de ce fait pour y ajouter foi. D'un autre côté, les bateaux à glace vont bien, surtout quand le vent leur est contraire ; en effet, la voile est toujours plate à l'arrière ; quant à la voiture à voiles, c'est surtout lorsque le vent la prend par le travers qu'elle avance avec la plus grande rapidité.

Naturellement la différence provient de la résistance plus grande offerte par les surfaces plus larges et plus élevées de la carcasse du véhicule ainsi que par les personnes transportées, et du frottement des tourillons de l'essieu, ce qui, probablement, dans les circonstances ordinaires, suffit pour empêcher la voiture à voiles d'obtenir la vitesse qu'atteint le bateau à glace (page 299).

M. Bascom nous dit que son wagon est très fréquemment utilisé sur le chemin de fer Kansas-Pacifique, où l'on s'en est servi pour transporter les objets nécessaires à la réparation des pompes, des lignes télégraphiques, etc., sur tout le parcours. Le wagon à voiles est d'une construction fort peu coûteuse ; il en est de même de son entretien. Il économise le travail des hommes poussant devant eux des camions ou des brouettes.

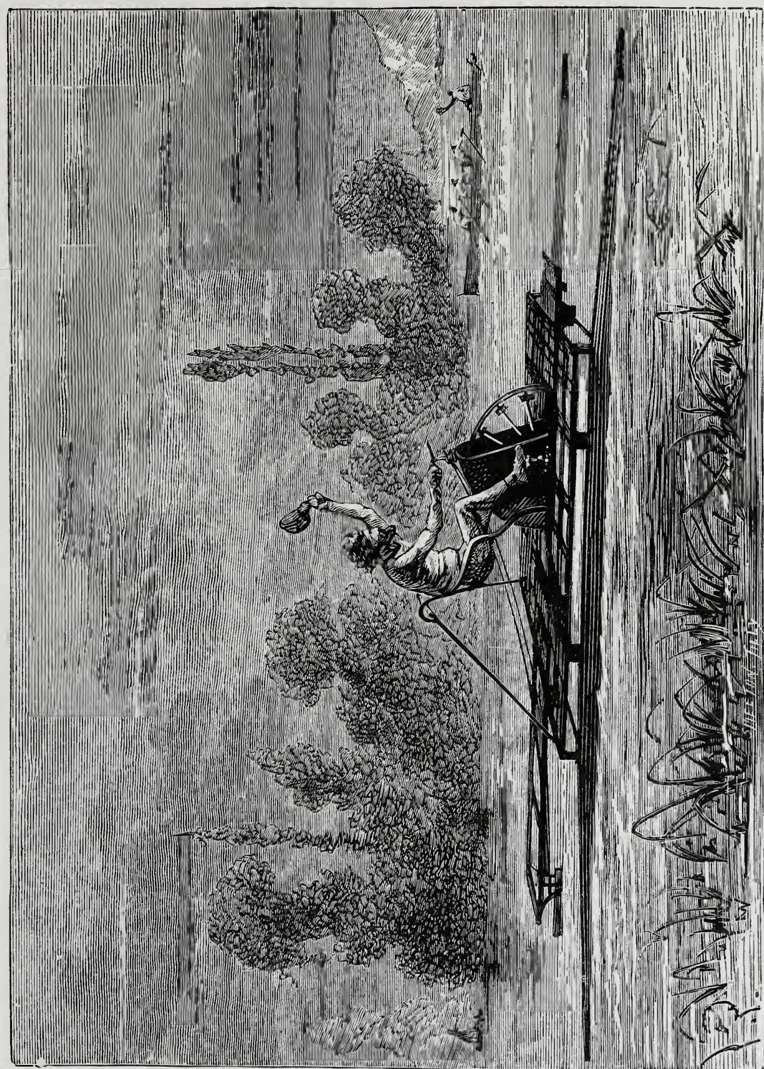


Fig. 196. — Vélocipède nautique. (Page 295.)

VÉLOCIPÈDE NAUTIQUE.

Il y a quelques années, Crocé-Spinelli construisit un vélocipède nautique qui fut expérimenté sur le grand lac de Vincennes, et sur la Seine même, où il attira l'attention du public ; mais la guerre de 1870-71 vint arrêter ces expériences, qui ne devaient pas être reprises par son inventeur, victime de son amour pour la science et l'aérostation.

Depuis cette époque, un constructeur-mécanicien, reprenant l'idée de Crocé-Spinelli, a expérimenté sur le même principe un vélocipède nautique dont la construction est fort ingénieuse, et dont les résultats sont des plus satisfaisants. L'appareil se compose de deux flotteurs creux en fer-blanc, ayant la forme de cylindres, aux extrémités effilées. Les deux flotteurs sont reliés par une plate-forme de bois très légère, qui supporte le siège du conducteur et le mécanisme qui met en mouvement le vélocipède à la surface de l'eau. Ce mécanisme est très simple : il consiste en une roue à aubes, dont l'axe est muni de deux étriers, où les pieds du conducteur viennent s'appuyer. Le mouvement que le *vélocipédiste* exécute pour faire fonctionner le vélocipède nautique est tout à fait comparable à celui que nécessite la conduite d'un vélocipède terrestre ; ses deux pieds s'abaissent et s'élèvent alternativement, imprimant un mouvement de rotation à la roue, qui fait progresser le système flotteur à la surface de l'eau.

Pour obtenir une déviation à gauche ou à droite de la marche rectiligne, un gouvernail léger est disposé à l'arrière de l'appareil. On le fait mouvoir par l'intermédiaire de deux cordelettes qui viennent s'adapter à une poignée tournante, placée sous les mains du conducteur. Celui-ci, comme l'indique notre figure 196, prend la position du *vélocipédiste* terrestre; tandis que le mouvement de progression sur l'eau lui est assuré par les efforts de ses jambes, la translation de l'appareil à droite ou à gauche de sa route dépend du mouvement qu'il imprime à l'aide

de ses mains à la poignée, adaptée au-dessus de la roue à aube. Il peut donc progresser facilement à la surface d'un lac ou d'une rivière en toute facilité et avec une rapidité qui atteint celle d'un canot conduit par un rameur.

Le constructeur nous a assuré que le nouveau vélocipède nautique de Crocé-Spinelli fonctionnait également bien à la surface de la mer, même lorsque les vagues sont fortes, et que, dans ce cas, le système traversait les masses d'eau qui semblaient devoir s'opposer à sa marche.

Sur les rivières, le vélocipède nautique est très avantageux pour l'amateur de bains froids ; celui-ci peut laisser flotter le système à la surface de l'eau, tandis qu'il se baigne, et y remonter en toute facilité, pour continuer sa course. Il va sans dire qu'il est indispensable d'être bon nageur pour se servir de cet appareil.

LE PLUS PETIT BATEAU A VAPEUR DU MONDE.

La gravure ci-contre (fig. 197) représente le petit bateau à vapeur *la Niña*, construit à Fordham (État de New-York), par les soins de M. J. Davidson, de cette ville.

La quille mesure 4 mètres de long sur $0^{m},75$ de large. Le tirant d'eau est de $0^{m},16$ à l'avant quand le bateau est chargé, de $0^{m},21$ à l'arrière. La chaudière circulaire est en cuivre recouvert de feutre ; elle est longue de $0^{m},54$, son diamètre est de $0^{m},46$. Le foyer a $0^{m},27$ de diamètre. Il est de forme cylindrique et contient vingt-deux tubes transversaux, en deux rangées. Les tubes inférieurs constituent la grille.

La course du piston est de 2 3/4. La pompe alimentaire est mue par le travail manuel. Les hélices, au nombre de deux, sont à trois ailes de $0^{m},3$ de diamètre, également propres à fonctionner dans les eaux basses ou profondes. La dépense en charbon est d'un seau et demi par jour. Avec une pression de 50 livres, le bateau s'avance doucement à raison de 7 kilomètres par heure ; mais, avec une chaudière d'acier capable de supporter

une pression de 100 livres, on obtient aisément une vitesse de 9 kilomètres environ.



Fig. 197. — Le plus petit bateau à vapeur du monde. (Page 296.)

La coque est construite sur le modèle du *Nautile*, en noyer

d'Amérique, chêne et cèdre, assujettis à l'aide de lames de cuivre. C'est une merveille de solidité et de légèreté.

Deux cloisons étanches maintiennent le navire à flot, soit qu'il s'enfonce ou qu'il chavire. Un tuyau en caoutchouc, injecté de vapeur, fait disparaître rapidement toute accumulation d'eau à l'intérieur. La cheminée est installée de façon à s'abaisser si l'on passe sous un pont un peu bas ou lorsqu'on remise le bateau dans sa petite cabane.

Durant une croisière de longue durée, la réserve de combustible, les outils, les provisions, sont réunis dans la petite allège étanche qui est remorquée à l'arrière ou simplement attachée sur les côtés, de façon à amortir le choc des vagues dans les gros temps. Le bateau transporte également, divisé en sections, un petit truc ou système de rails, sur lequel il peut être tiré sur le rivage ou lancé à l'eau.

Les poids des différentes parties du petit navire sont les suivants : carène, 90 livres ; chaudière, 80 livres ; machine, 25 livres ; tuyaux, arbre, hélice, manomètre, 20 ; total : 215. Quarante livres de bon charbon peuvent être arrimées de chaque côté de la chaudière, dans des sacs de toile.

L'appareil de la timonerie consiste en un étrier disposé à bâbord et un cordage formant levier à tribord. Des fils de fer mettent ce système en communication avec le joug du gouvernail, de telle sorte qu'on peut diriger celui-ci avec le pied et que les mains restent libres pour manœuvrer la machine. Le voyageur peut ainsi mettre le bateau en mouvement, l'arrêter, lui faire exécuter volte-face et le diriger sans se déplacer.

Ce bateau est admirablement adapté à une navigation sur une rivière paisible ou sur une baie calme. Il peut être recommandé à l'amateur de mécanique qui désirerait cumuler les fonctions de capitaine, de matelot et de chauffeur. Ce joli petit steamer revient au prix de 6,000 francs, mais cette somme pourrait être notablement diminuée si l'inventeur pouvait en construire à la fois un certain nombre d'exemplaires.

Nous apprenons que *la Niña* a fonctionné à plusieurs reprises,

et que ce bateau à vapeur minuscule a donné, quant à sa marche, les résultats les plus satisfaisants.

LES BATEAUX A GLACE.

Pendant l'hiver, les amateurs de canotage américains se construisent des *yachts à glace* (*ice yacht*) formés d'un châssis, monté

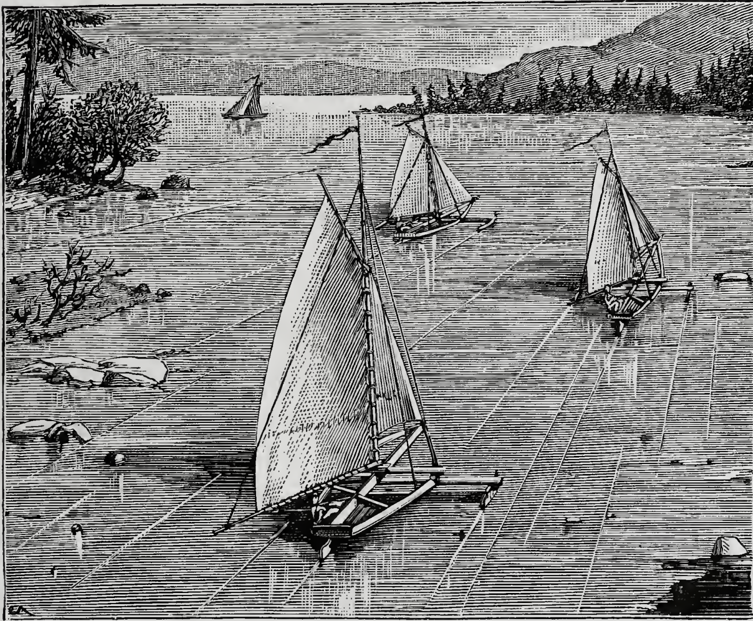


Fig. 198. — Les yachts à glace aux États-Unis sur un petit lac du Canada. (Page 299.)

sur une traverse de bois munie à chacune de ses extrémités d'un patin allongé ; ces yachts sont en outre pourvus d'un troisième patin à l'arrière, comme le montre la gravure ci-dessus. Ce genre de sport a obtenu un très grand succès en 1879, sur les glaces de l'Hudson et sur celles des petits lacs du Canada. Les Américains affirment que ces yachts à glace, par la seule impulsion d'une bonne brise soufflant dans leur voile, peuvent rivaliser de vitesse avec un train express de chemin de fer. La voile est

placée à l'avant de la charpente, et son orientation par le pilote permet de diriger le véhicule d'un si nouveau genre.

Le yacht que nous représentons sur le premier plan de notre gravure (fig. 198) a été construit par M. Aaron Innes, de Poughkeepsie (États-Unis) ; la quille a environ 8 mètres de longueur ; le mât a 7 mètres de hauteur. Les autres constructions sont faites sur le même modèle.

Il existe au musée naval de South-Kensington, à Londres, des modèles de yachts à patins, finlandais, qui sont pourvus de deux voiles. Les amateurs américains ne se servent que d'une voile ; ils affirment, ce que nous répéterons sans en prendre la responsabilité, que le yacht à glace, une fois lancé, se meut parfois avec une rapidité plus grande que celle dont est animé le vent qui le pousse sur la surface glacée.

VOITURE TRAINÉE PAR DES PUCES.

Nos lecteurs ont certainement entendu parler de certains entomologistes forains, qui passent pour connaître l'art difficile de dresser des puces, pour savoir les atteler à des chariots microscopiques et leur faire exécuter un certain nombre d'exercices. On est généralement porté à ne pas ajouter foi à ces récits : ils sont cependant absolument véridiques.

A l'occasion des fêtes du jour de l'an, un *montreur de puces* a exhibé, rue Vivienne, à Paris, les merveilles de son savoir-faire. Nous les avons examinées attentivement et nous les décrirons ici avec la plus scrupuleuse exactitude, croyant que nous ne pouvons mieux terminer ce chapitre qu'en parlant de cet extraordinaire et minuscule système de locomotion.

Chaque objet exhibé est placé sur un petit plateau : on le voit très nettement à l'œil nu, mais, en s'armant d'une loupe, on peut en observer plus complètement tous les détails. On voit d'abord un carrosse lilliputien, véritable petit chef-d'œuvre de construction délicate. Quatre puces y sont attelées, retenues au brancard par des ceintures qui les y maintiennent solidement.

Une puce est fixée sur son siège, et une mince tige, imitant le fouet de ce cocher d'un nouveau genre, est attachée à la patte de l'insecte, qui la fait constamment mouvoir. Une autre puce est fixée au siège de l'arrière. Les quatre puces attelées cherchent naturellement à s'échapper ; elles ne peuvent sauter, puisqu'elles sont retenues par la partie supérieure du corps, leurs efforts se traduisent par la marche et la progression en avant ; elles font ainsi rouler le petit carrosse, que l'on voit s'avancer plus ou moins vite, et dont notre gravure donne la représentation exacte sous un grossissement de quelques diamètres (fig. 199).

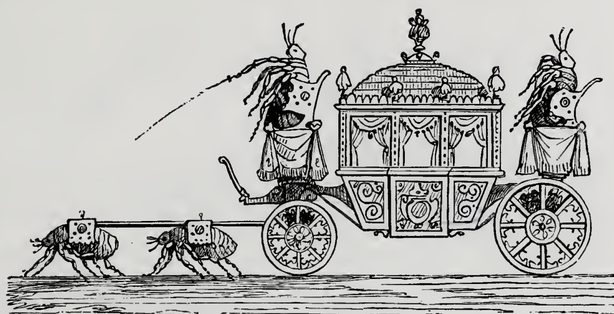


Fig. 199. — Carrosse traîné par des puces (d'après nature, grossi). (Page 300.)

A côté du carrosse, deux puces se battent en duel à la façon des hannetons que les écoliers posent dans la cire molle. Elles sont attachées à l'extrémité de deux tiges verticales, et les deux petits morceaux de bois qu'on a adaptés à leurs pattes toujours en mouvement se croisent et s'entre-croisent comme les fleurets des amateurs d'escrime.

Plus loin un petit moulin à vent est mis en rotation par le travail d'une puce. Celle-ci est attachée par le dos dans l'intérieur du moulin ; en agitant ses pattes, elle fait tourner un cylindre monté sur un axe, et qui, par sa rotation, entraîne les ailes du moulin.

Une autre puce est attachée par la patte à une chaîne métallique, qui se termine par un petit boulet ; elle se trouve ainsi con-

damnée à la chaîne du galérien, et tantôt elle la soulève par ses sauts, tantôt elle l'entraîne avec elle quand elle marche.

L'exhibition ne se termine pas encore là ; le montreur de puces vous présente un puits, dont la corde est tirée par le frottement des pattes d'une puce, et l'on voit un seau qui est élevé au-dessous de la poulie, dans la gorge de laquelle passe la corde, comme dans les puits de campagne. Une puce est enfin munie d'une selle, et l'on distingue à la loupe une petite poupée microscopique, découpée dans je ne sais quelle substance, et qui a la position d'un cavalier à cheval. Enfin, la représentation se termine par un coup de canon tiré par une puce. Nous représentons (fig. 200) l'appareil qui sert à cette opération conçue d'une manière fort ingénieuse. Une puce est attelée à un petit manège ; en marchant, elle le fait tourner. Au côté opposé à l'attelage, un petit fil de platine porte à son extrémité inférieure une gouttelette d'acide sulfurique. Le liquide arrive au-dessus de l'âme du petit canon : là il touche une poudre placée sur le canon, et formée d'un mélange de chlorate de potasse et de sucre pulvérisé, qui, comme on le sait, a la propriété de s'enflammer spontanément au contact de l'acide sulfurique. Le coup part et fait entendre une détonation très appréciable.

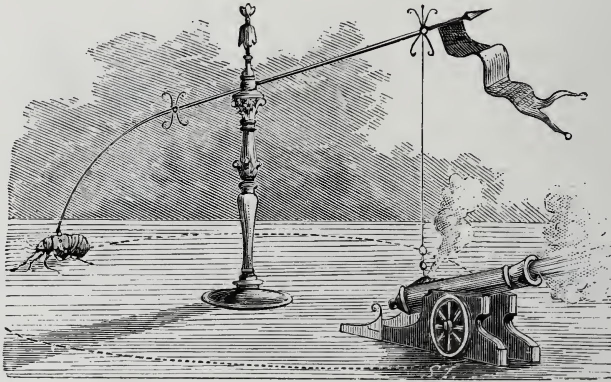


Fig. 200. — Coup de canon tiré par une puce (d'après nature, grossi). (Page 302.)

On voit que l'exhibition du montreur de puces est digne d'être mentionnée comme exemple d'une habileté peu commune et d'un usage singulier d'insectes qui n'ont pas le privilège d'exciter l'intérêt. On a pu comprendre, par la description précédente, que les puces dont nous avons parlé, contrairement aux affirmations de l'ingénieux industriel qui les exhibe, ne sont nullement *dressées* ni *savantes*, comme il le dit à ses spectateurs fort nombreux; elles sont uniquement attachées, et accomplissent leurs travaux par le seul fait des efforts qu'elles font pour tenter d'échapper à la captivité.

CHAPITRE X

LES VACANCES

Nous ne croyons pouvoir mieux terminer cet ouvrage qu'en signalant quelques sujets d'occupations intéressantes, de distractions instructives ou de récréations agréables pour bien remplir les moments de loisir des vacances.

Nous ferons connaître d'abord un charmant petit aquarium qui a ce mérite incomparable d'être en même temps une volière, et d'offrir cet aspect invraisemblable : des canaris, vivant entourés d'eau, face à face avec des poissons rouges !

Munissez-vous d'une grande cloche à melon ; dans l'intérieur de cette cloche introduisez un vase cylindrique en verre que vous avez au préalable chargé de morceaux de plomb ou de fonte, peints en vert et autres couleurs, de manière à imiter le lit d'une fontaine ou d'un clair ruisseau. Sur le fond de ce vase repose un perchoir mobile et avec pied, le tout en fer rond et d'un petit diamètre. Sur l'orifice de la cloche on place un grillage dont les mailles sont assez larges pour fournir l'air suffisant aux oiseaux. Enfin, sur le grillage on peut encore, pour l'ornementation, placer des pots de fleurs.

Faites faire par un menuisier un pied en bois de sapin capable de recevoir ladite cloche dans ses griffes. Faites rougir ou



Oiseaux dans un Aquarium

noircir ce pied, selon la couleur des meubles de votre appartement, puis faites-le vernir.

Quand vous aurez fait construire cet appareil qui n'offre rien de compliqué, en mettant de l'eau et des poissons rouges dans la cloche, des oiseaux dans le vase cylindrique, et des pots de fleurs sur le grillage qui recouvre l'orifice de la cloche et du vase; en plaçant la cloche ainsi disposée sur le pied, on peut avoir d'un seul coup : aquarium, volière et jardinière, avec cet agrément qu'on produit ainsi l'illusion très curieuse et qui ne

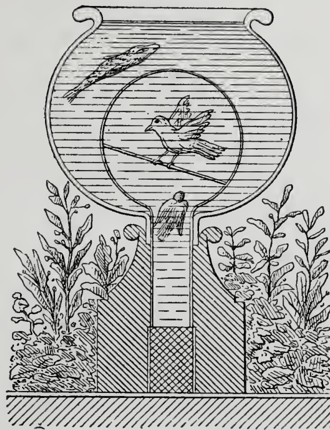


Fig. 201. — Aquarium-volière. (Page 305.

laisse pas que de surprendre beaucoup, de pouvoir faire vivre des oiseaux dans l'eau avec des poissons (Planche IV).

On peut encore disposer l'appareil d'une façon plus merveilleuse, comme l'indique notre figure 201. Un ballon renversé à large encolure est logé à l'intérieur d'un aquarium ordinaire dont le fond est ouvert. Le goulot, suffisant pour le passage de l'air et des oiseaux, est dissimulé dans le pied de l'appareil par les fleurs de la jardinière et par une base opaque qui paraît porter le globe de l'aquarium; quand le verre et l'eau sont bien transparents, on n'aperçoit en aucune façon le ballon-cage et l'illusion est complète.

Il existe un grand nombre d'appareils dont l'emploi peut être utile ; tel est le filtre-charbon combiné à un système de siphon. La figure 202, ci-dessous, en donne l'aspect. Se trouve-t-on à la campagne au moment où des pluies ont troublé la limpidité de l'eau de la source ou du puits dont on s'alimente, il suffira

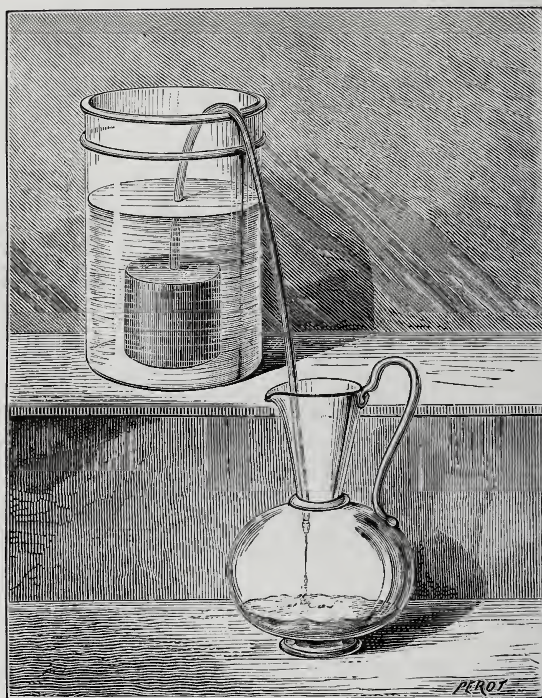


Fig. 202. — Filtre siphon à charbon. (Page 306.)

d'amorcer le siphon du filtre-charbon en plongeant celui-ci dans l'eau qu'il s'agit de rendre claire. L'écoulement se fera par le siphon ; mais l'eau trouble devra traverser la petite masse de charbon, à travers laquelle elle se fera accès pour arriver à l'ouverture du tube, et elle se débarrassera, par cette filtration, de toutes les substances solides qui en troublaient la transparence.

Si l'on dispose de prises d'eau ayant une certaine pres-

sion, comme dans la plupart des grandes villes, un genre de passe-temps très instructif consiste dans la confection de jets d'eau. Celui que nous représentons (fig. 203) est d'une espèce particulière. Il se produit sous une grande cloche de verre, et soulève constamment de petites balles sphériques en liège,

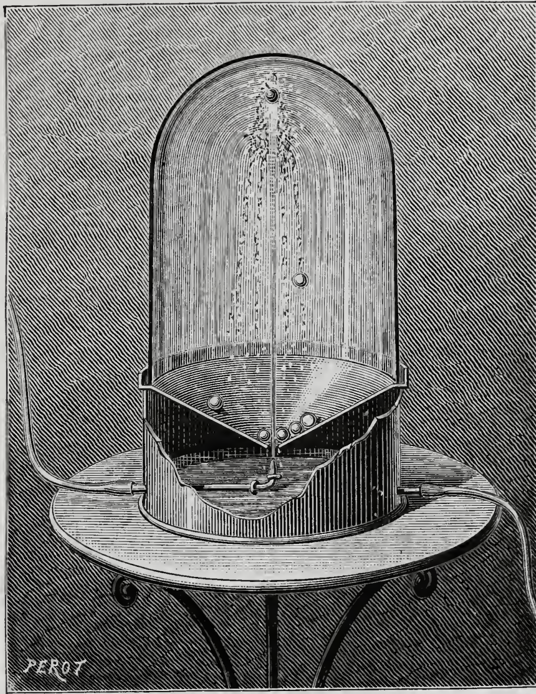


Fig. 203. — Balles de liège dans un jet d'eau. (Page 307.)

qu'il fait bondir en les projetant avec force. On fait arriver l'extrémité d'un tube de fer-blanc à l'ouverture d'un entonnoir de même métal ; c'est par l'extrémité de ce tube que le jet d'eau devra jaillir ; si l'ouverture de l'entonnoir est petite, et si on y a mis quelques petites balles de liège, ces balles, glissant sur les parois en pente de l'entonnoir, seront constamment enlevées par le jet d'eau. La cloche de verre qui protège le sys-

tème les empêche de tomber au dehors. Quand elles quittent le jet d'eau, elles arrivent à la surface de l'entonnoir et sont forcément reprises par le liquide et enlevées de nouveau. Ce petit



Fig. 204. — Vases trompeurs du XVIIIe siècle. (Page 309.)

appareil, d'un fonctionnement très régulier, est facile à construire, ou à faire construire par un ferblantier.

Nos pères, beaucoup plus que nous, se plaisaient aux récréations scientifiques ; certains objets très anciens en sont un témoignage incontestable. Les *vases trompeurs*, très répandus au dix-

huitième siècle et aux époques antérieures, sont basés sur un principe de physique qui sert à l'emploi des *pipettes* de laboratoire. Ces vases de terre (fig. 204) étaient construits de telle manière que, si on voulait verser le vin qu'ils contenaient, le liquide coulait par les ouvertures pratiquées tout autour du vase, et ruisselait au dehors. Celui qui savait faire usage de ces pots mettait le bec A (fig. 205) dans sa bouche, fermait du doigt l'ouverture B et, en aspirant, il faisait monter le liquide E par l'anse creuse et par le canal pratiqué tout autour du vase.

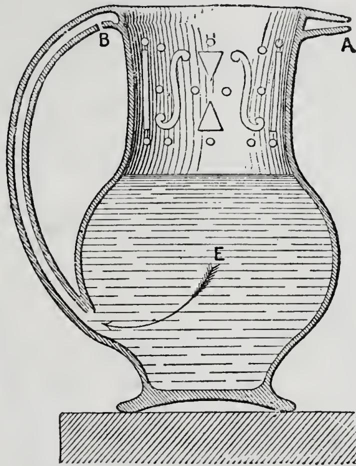


Fig. 205. — Coupe d'un vase trompeur. (Page 309.)

Ces vases trompeurs affectent souvent une forme élégante ; il en existe quelques-uns dans nos collections nationales. Ceux que nous représentons se trouvent au musée de la manufacture de Sèvres. On en confectionne actuellement des spécimens qui imitent ces anciens modèles.

Un savant distingué du dix-septième siècle, Ozanam, membre de l'Académie royale des sciences, a donné en 1693 la description d'une curieuse voiture mécanique qui peut être considérée comme un des systèmes précurseurs du vélocipède. Nous reproduisons les gravures et le texte publiés par Ozanam, son

système étant encore de ceux que l'on pourrait exécuter assez facilement (fig. 206 et 207).

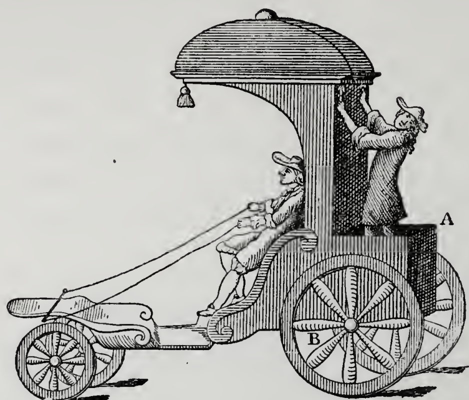


Fig. 206. — Ancienne voiture mécanique, d'après Ozanam. (Page 310.)

« On voit à Paris, depuis quelques années, dit le savant aca-

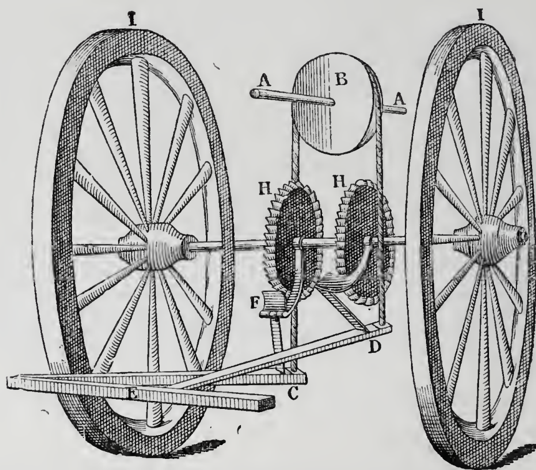


Fig. 207. — Détail du mécanisme (fac-simile d'anciennes gravures). (Page 310.)

démicien (ces lignes ont été écrites en 1693), un carrosse ou chaise qui a une forme à peu près semblable à celle de la

figure 206. Un laquais, monté derrière, le fait marcher, en appuyant alternativement les deux pieds sur deux pièces de bois qui communiquent à deux petites roues cachées dans une caisse posée entre les roues de derrière A, B, attachées à l'essieu du carrosse. J'en donnerai l'explication dans les mêmes termes que je l'ai reçue de M. Richard, médecin de la Rochelle.

« A A (fig. 207) est un rouleau attaché par les deux bouts à la caisse qui est derrière la chaise. B est une poulie sur laquelle roule la corde qui lie le bout des planchettes C, D sur lesquelles les laquais mettent les pieds. E est une pièce de bois qui tient à la

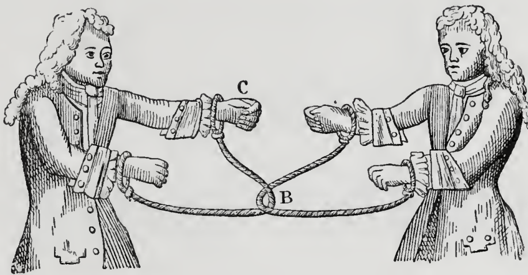


Fig. 208. — Expérience amusante faite au moyen de cordelettes d'après Ozanam (fac-similé d'une ancienne gravure). (Page 311.)

caisse. F, F sont les pédales. Les roues H, H fixées à l'essieu, étant ainsi mises en rotation, font tourner les deux grandes roues I, I. Il est facile de s'imaginer que, les deux roues de derrière avançant, il faut que les petites de devant avancent aussi, lesquelles iront toujours droit si la personne qui est dans la chaise ne les fait tourner avec les rênes qui sont attachées à une flèche sur le devant. »

Le même savant Ozanam a, comme nous l'avons dit dans notre introduction, écrit un livre entier sous le titre de *Récréations mathématiques et physiques*, et il ne craint pas de publier de véritables jeux d'enfance dont nous lui empruntons quelques-uns relatifs à d'amusantes combinaisons de cordes et de nœuds.

Si vous attachez deux personnes par les poignets, au moyen de deux cordelettes, de telle sorte que ces cordes s'entre-croisent en B (fig. 208), il semblera au premier abord que les deux personnes ne pourront pas se séparer sans défaire les nœuds. Rien n'est plus simple cependant. Il suffit de faire glisser la corde B, entre la corde et le poignet de la personne de gauche, qui passe elle-même à travers la boucle ainsi formée et arrive facilement à se séparer.

Voici une autre expérience d'Ozanam.

On prend un ruban attaché à ses deux extrémités, de manière

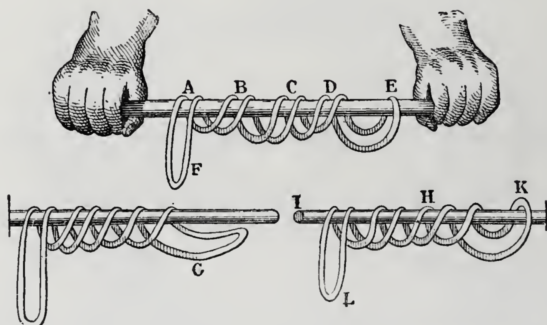


Fig. 209. — Autre expérience faite avec une cordelette. (Page 312.)

à ce qu'il n'ait pas de bout; on le fait tourner autour d'un rouleau de bois en le posant en ABCD (fig. 209), on l'engage comme en E à l'extrémité du bâton; cela fait, on prie un des assistants de tenir les deux bouts du bâton, on demande à une autre personne de tirer le ruban par F; ce ruban restera fixé au bâton par E.

On peut répéter cette expérience de manière à faire sortir le ruban, en procédant apparemment de la même manière; il faut poser le ruban sur le bâton comme le représente la figure en G, et on peut dans ce cas le faire échapper[1].

[1] Cette expérience est longuement expliquée dans l'ouvrage d'Ozanam, auquel nous renvoyons le lecteur, qui y trouvera quelques autres récréations du même genre.

Si l'on fixe des ciseaux à un ruban, comme le montre la figure 210 et que l'on fasse tenir les deux extrémités du ruban dans la main d'une personne des assistants, il semble que les ciseaux ne puissent être séparés sans couper le ruban. Rien n'est plus facile au contraire ; il suffit de faire passer la boucle D dans l'anneau C, puis de suivre, le long des ciseaux, leur extrémité, jusqu'à ce que les ciseaux se séparent de la cordelette. Cette expérience s'exécute facilement après quelques tâtonnements préliminaires. Au lieu de faire tenir les extrémités du ruban, on peut les faire attacher solidement à un pied de table ou à une chaise.

Le croquis ci-joint (fig. 211) représente un exercice singulier

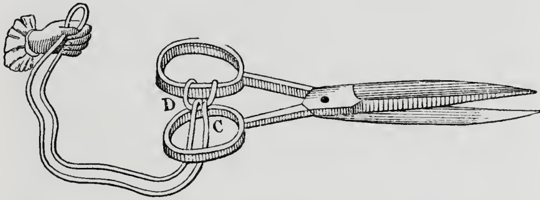


Fig. 210. — Troisième expérience faite avec une cordelette et une paire de ciseaux. (Page 313.)

auquel des collégiens peuvent s'exercer, et qui n'est pas tout à fait étranger aux principes de la physique. Il consiste à enlever un homme avec les doigts. Deux opérateurs placent leurs index sous la bottine du patient, deux autres placent l'index bien tendu de la main droite sous chaque coude de l'individu à soulever, une cinquième personne place son index sous le menton de ce dernier. Au commandement de *une, deux*, *trois*, chacun fait un effort énergique de bas en haut. L'individu sur lequel on expérimente est enlevé avec une facilité surprenante. On est à juste titre étonné du résultat obtenu, mais en y réfléchissant quelque peu, il y a là un simple exemple de l'égale répartition d'un poids. Un homme pèse en moyenne 70 kilogr., chaque doigt ne soulève donc que 10 kilogr., ce qui n'offre rien d'extraordinaire.

Quoi qu'il en soit, l'expérience est amusante; elle a généralement le privilège d'exciter l'hilarité des assistants.

Un très joli jouet, qui est en même temps un appareil de physique intéressant, consiste dans le ludion. On peut faire un ludion au moyen d'une simple coquille de noix. Quand la noix



Fig. 211. — Un homme soulevé au moyen de sept doigts. (Page 313.)

est vidée, on réunit les deux coques et on les soude ensemble à l'aide de cire à cacheter, de manière à confectionner un petit récipient imperméable. On y laisse une ouverture en O (fig. 212) grande à peu près comme une grosse tête d'épingle. Au moyen de deux fils, adaptés dans la cire à cacheter, on attache à la noix une poupée découpée dans du bois. On y suspend une petite balle de plomb d'un poids suffisant pour que le système flotte à

la surface de l'eau, et soit juste équilibré de telle sorte que le plus petit surcroît de poids fasse couler à fond le système. Cet équilibrage se fait très facilement par tâtonnement à la surface d'un seau d'eau. La balle de plomb peut être d'abord plus lourde qu'il n'est nécessaire, et on lui enlève successivement

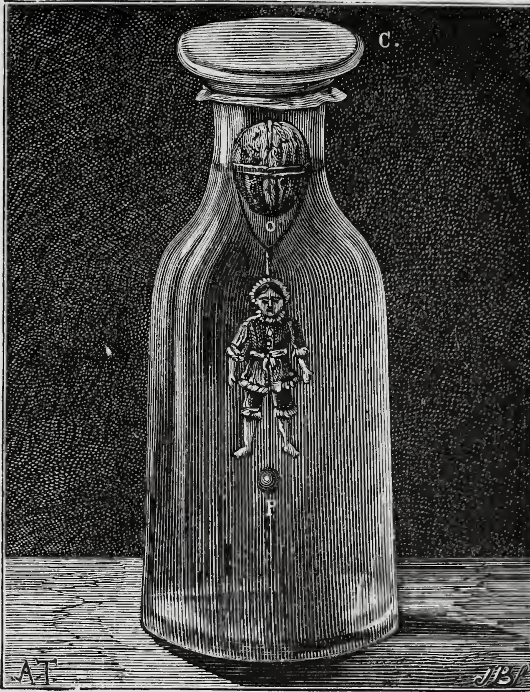


Fig. 212. — Ludion confectionné à l'aide d'une coquille de noix. (Page 314.)

des morceaux que l'on coupe à l'aide d'un couteau. Quand l'équilibre est obtenu, on place le système dans une carafe remplie d'eau. On bouche cette carafe avec une feuille de caoutchouc solidement ligaturée au goulot. Si on presse du doigt la surface flexible de cette fermeture, la poupée avec son flotteur descend au fond de la bouteille; elle remonte à la surface si la pression cesse d'être faite. La petite masse d'air comprimée à la partie supérieure de la carafe a fait entrer un peu d'eau

dans le flotteur creux, et, augmentant son poids, a déterminé la descente du système.

Voici une autre récréation qui exige un appareil encore plus simple que le ludion.

On prend un bouchon de liège ; on y fixe trois épingles à

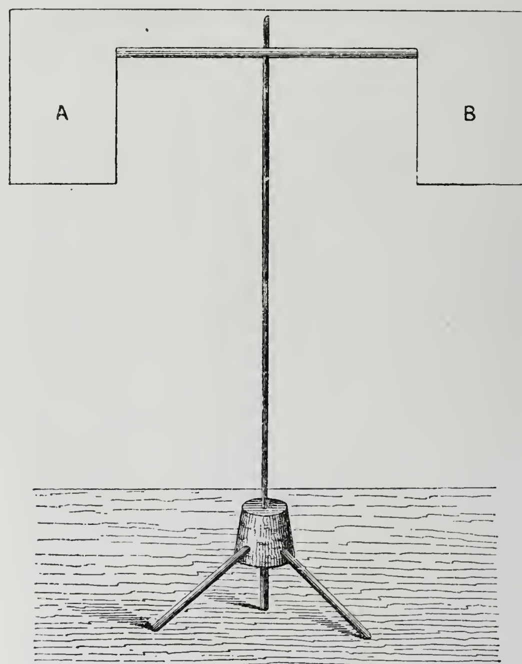


Fig. 213. — Disposition d'une feuille de papier AB pour une curieuse expérience de rotation. (Page 316.)

cheveux, de manière à faire une espèce de trépied ; on enfonce dans l'axe du bouchon une aiguille à tricoter un peu fine, et on y pique une feuille de papier AB découpée, comme le montre la figure 213.

On a ainsi deux surfaces de papier A et B susceptibles de tourner au moindre souffle autour de l'aiguille à tricoter servant d'axe. Eh bien, si l'on évente une de ces surfaces à l'aide d'un morceau de carton rigide, ou d'une règle plate de bois,



Fig. 214. — Le jeu des ombres. (Page 320.)

dirigée normalement à la surface, on voit que la surface ainsi ventilée, au lieu d'être repoussée comme on le croirait, est appelée par une forte attraction. Dans certains cas, quand on emploie une surface flexible comme ventilateur, il y a répulsion. Nous avons exécuté cette expérience vraiment curieuse, devant plusieurs physiciens, sans pouvoir d'abord l'expliquer ; mais nous avons fini par reconnaître que le disque de papier est attiré parce que la palette de ventilation, en s'abaissant brusquement, détermine momentanément un vide, et que la surface de papier semble ainsi attirée vers la main qui fait agir le ventilateur.



Fig. 215. — Carte découpée à l'aide de ciseaux.



Fig. 216. — Ombre projetée par cette carte.



Fig. 217. — Deuxième effet produit par la pénombre. (Page 319.)

Parmi les jeux amusants pour l'enfance, nous rappellerons un mode de récréation qui a obtenu autrefois un très grand succès. Il consiste à faire dans un papier des découpures dont l'ombre projetée représente une figure plus ou moins modelée suivant que l'ombre est plus ou moins intense. Nous en publions ci-dessus un spécimen. La figure 215 représente une carte découpée avec des ciseaux; si l'on interpose cette carte entre une lumière et un mur ou un écran, on obtient l'effet de la figure 216 si la carte est tout près de l'écran; si on l'éloigne peu à peu en la rapprochant du foyer lumineux, on obtient l'effet représenté figure 217, où la pénombre a modelé une tête d'un aspect très artistique.

Si l'on ne veut pas prendre la peine de découper des cartes, on peut faire des ombres avec les mains. Notre figure 214 montre le moyen d'obtenir de la sorte la silhouette d'un nègre, d'un garde champêtre, d'un lapin, etc. Elle s'explique assez clairement d'elle-même, sans qu'il soit nécessaire de la compléter par des descriptions détaillées, qui deviendraient assurément trop futiles.

Un de nos lecteurs, qui est en même temps un chimiste habile, M. C. Wideman, nous a envoyé récemment une véritable curiosité de gravure. C'est un carré de glace transparente, analogue à un morceau de verre à vitre; on n'y distingue absolument aucun trait, même à la suite d'un examen minutieux. Si l'on vient à souffler sur cette glace en ouvrant la bouche, de manière à en recouvrir la surface de la buée de l'haleine, on voit apparaître une figure, comme le représente la gravure ci-contre (fig. 218). Cette figure disparaît aussitôt que la buée formée par le souffle a disparu. On peut laver, essuyer la glace, et l'image apparaîtra aussitôt que la surface, bien séchée et froide, recondensera cette buée humide.

Voici comment il faut opérer pour obtenir cet effet curieux : on prend un morceau de glace analogue à celle qui sert à confectionner les miroirs. Ce morceau de glace peut être transparent, il peut être encore étamé ou argenté; cela n'influe pas sur le résultat final. On verse dans une capsule de porcelaine une petite quantité de spath fluor en poudre que l'on humecte avec de l'acide sulfurique ordinaire du commerce, de manière à former une bouillie assez liquide pour pouvoir écrire sur le verre bien nettoyé, au moyen d'une plume d'oie. — On trace, au moyen de cette bouillie, le dessin désiré, ou les caractères. On laisse séjourner quelques minutes, cinq à dix minutes au plus. On lave avec de l'eau ordinaire et l'on sèche avec un linge. La plaque est alors prête; on n'a qu'à halener dessus pour voir apparaître les traits ainsi tracés.

Un peu de pratique indique le temps précis qu'il faudra mettre pour laisser la gravure sur verre se faire. Une trop longue mor-

sure à l'acide fluorhydrique a l'inconvénient de graver trop fortement le verre, et les traits seraient toujours appréciables, même sur la glace sèche.

C'est par cet amusement peu connu, chers lecteurs, que

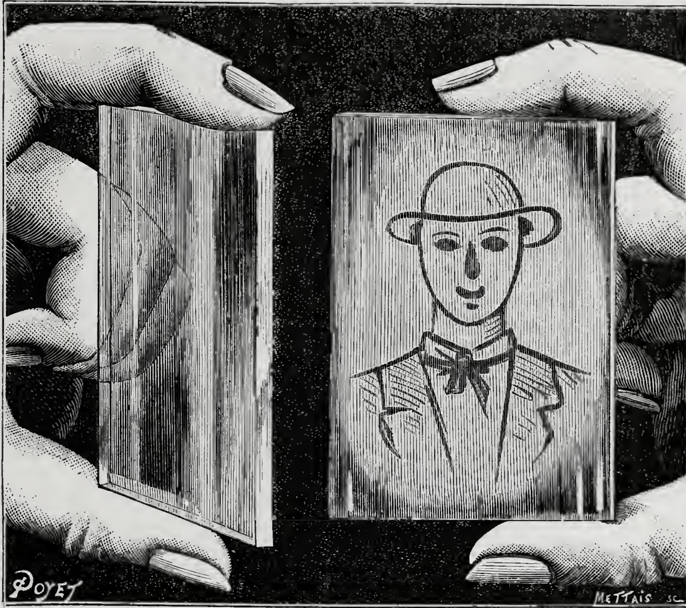


Fig. 218. — Apparition d'une figure sur une glace transparente à l'aide de l'haleine. — A gauche, glace transparente; à droite, la même après insufflation de la bouche. (Page 320.)

nous terminerons ce livre : nous nous sommes attachés à y faire connaître de nombreux moyens de se distraire ; nous avons cherché à indiquer comment on pouvait occuper ses loisirs et passer son temps, en s'instruisant tout à la fois, c'est-à-dire en exerçant l'adresse, l'application, le raisonnement, tout en mettant à profit, pour les développer, les facultés intellectuelles.

TABLE DES MATIÈRES

Avertissement de la 4e édition VII

Introduction IX

CHAP. I. — La science en plein air 1

CHAP. II. — La physique sans appareils 30

CHAP. III. — La vision et les illusions d'optique 113

CHAP. IV. — L'analyse des hasards et les jeux mathématiques 156

CHAP. V. — La chimie sans laboratoire 176

CHAP. VI. — La toupie magique et le gyroscope. Les jeux et les jouets scientifiques 220

CHAP. VII. — La maison d'un amateur de sciences 243

CHAP. VIII. — La science et l'économie domestique 271

CHAP. IX. — Les appareils de locomotion 282

CHAP. X. — Les vacances 304

194-84. — CORBEIL. Typ. et Stér. CRÉTÉ.





